

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

**Realizace laboratorní úlohy – Vliv překážek na přenos optického
atmosférického spoje**

Laboratory measurement realisation – Obstacle influence on optical
atmospheric transmission

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Peichl**

Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601T013 Telekomunikační technika

Téma: Realizace laboratorní úlohy - Vliv překážek na přenos optického
atmosférického spoje
Laboratory measurement realisation - Obstacle influence on optical
atmospheric transmission

Zásady pro vypracování:

1. Navrhněte laboratorní úlohu pro laboratoře posluchačů pro měření vlivu překážek na optický atmosférický spoj.
2. Zhotovte modely typických překážek na atmosférické optické spoje.
3. Změřte vlivy překážek na distribuci světla a vyhodnoťte změny útlumu.
4. Zhotovte návod na měření a vzorové zadání včetně vypracování vzorového protokolu z měření.

Seznam doporučené odborné literatury:


Podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.**

Datum zadání: 20.11.2009

Datum odevzdání: 07.05.2010


prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 7. května 2010

.....

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce prof. RNDr. Vladimíru Vašínkovi, CSc. za odborné vedení diplomové práce a za obětavou pomoc s teoretickou i praktickou částí této práce.

Dále děkuji katedře telekomunikační techniky za možnost vypracování diplomové práce.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je provést rozbor činnosti optických vysílačů a přijímačů a realizaci atmosférických spojů. Dále navrhnout laboratorní úlohu pro laboratoře posluchačů pro měření vlivu překážek na optický atmosférický spoj a zhotovit modely typických překážek na atmosférické optické spoje. Následně provést měření vlivu překážek na distribuci světla a vyhodnotit změny útlumu. Teoretický rozbor v tomto případě umožňuje základní pochopení principu optických vysílačů a přijímačů a problematiku atmosférických spojů. Pomocí LED – Link WL4E1 provedeme sérii jedenácti měření, která budou doplněna o grafická zobrazení ve 2D a 3D. Veškeré naměřené hodnoty budou odečteny pomocí laboratorních přístrojů, což zaručuje věrohodnost naměřených výsledků. Ze získaných naměřených hodnot a praktického měření bude zhotoven návod na měření, vzorové zadání včetně vypracování vzorového protokolu z měření a vzorového protokolu.

Klíčová slova: optický atmosférický spoj, LED, laserová dioda, optický signál, rastr, LED – Link, ThorLabs, optický svazek, výkon v prostoru.

Abstract

Objective of this diploma thesis is to analyze performance of optical transmitters and receivers and realizing of atmospheric transmissions. Then to propound a laboratory task for student's test rooms for measuring of obstructions effect of an optical atmospheric transmission and to prepare models of typical obstructions to optical atmospheric transmissions. Consequently make measuring of obstructions effect on a distribution of the light and analyse attenuation changes. In this case the theoretical analysis allows the basic understanding of optical transmitters and receivers principle and atmospherical transmissions questions. We will make series of 11 measurements with LED – Link WL4E1, which will be completed by graphic display in 2D and 3D. All measured values will be taking off by laboratory instruments which warrants measured values veracity. A measuring instruction and a model setting including an executed pattern protocol from measurement and a prototypal protocol will be made from the obtained measured values and practical measuring.

Keywords: optical atmospheric transmission, LED, laser diode, optical signal, raster, LED – Link, ThorLabs, optical bunch, power in precinct.

Seznam použitých symbolů a zkratek:

Gb.s ⁻¹	– gigabit za sekundu – jednotka informace 10 ⁹ bitů za sekundu
Mb.s ⁻¹	– megabit za sekundu – jednotka informace 10 ⁶ bitů za sekundu
kb.s ⁻¹	– kilobit za sekundu – jednotka informace 10 ³ bitů za sekundu
kHz	– kilo hertz
LASER	– <i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i> – zdroj monochromatického koherentního světla
FSO	– <i>Free Space Optics</i> – optický bezdrátový spoj
AOS	– atmosférický optický spoj
LD	– <i>Laser diode</i> – laserová dioda
LED	– <i>Light emitting diode</i> – polovodičová dioda vyzařující nekoherentní světlo
MHz	– mega hertz
μW	– mikro Watt – jednotka výkonu
nm	– nano metr
OBS	– optický bezkabelový spoj
FWA	– <i>Fixed Wireless Access</i> – pevné bezdrátové přístupové sítě
PN	– polovodičový přechod PN
λ	– vlnová délka [m]
2D	– dvojrozměrné zobrazení
3D	– trojrozměrné zobrazení
P-N	– polovodičový přechod P-N
PIN	– PIN dioda, která se skládá ze dvou silně legovaných oblastí P ⁺ a N ⁺
APD	– lavinová fotodioda s vnitřním ziskem
IREL	– infračervená elektroluminiscenční dioda
SILEX	– <i>Semiconductor-laser Inter-satellite Link Experiment</i> – projekt optického satelitního spojení
ESA	– <i>European Space Agency</i> – Evropská kosmická agentura
JAXA	– <i>Japan Aerospace Exploration Agency</i> – Japonská národní vesmírná agentura
NICT	– <i>National Institute of Information and Communication Technology</i> – Národní institut informačních a komunikačních technologií
OICETS	– <i>the Optical Inter-Orbit Communications Engineering Test Satellite</i> – zkušební družice využívající optickou komunikaci
OGS-OP	– mobilní pozemní stanice

M-FSOL	– <i>Mobile Free - Space Optical Link</i> – mobilní optický spoj
KIODO	– <i>Kirari Optical Downlink to Oberpfaffenhofen</i> – společný projekt JAXA a DLR
LEO	– <i>Low Earth Orbit</i> – tzv. nízká oběžná dráha Země
OGS-OP	– <i>Optical Ground Station Oberpfaffenhofen</i> – mobilní německá pozemská stanice
IM	– intenzitní modulace
DD	– přímá detekce
SDI	– <i>Strategic Defense Initiative</i> – Strategické obrané iniciativy
VLAN	– <i>Virtual Local Area Network</i> – virtuální lokální síť
VPN	– <i>Virtual Private Network</i> – virtuální privátní síť
OSPF	– <i>Open Shortest Path First</i> – adaptivní hierarchicky distribuovaný směrovací protokol
RIP	– <i>Routing Information Protocol</i> – směrovací protokol umožňující směrovačům komunikovat mezi sebou a reagovat na změny topologie počítačové sítě
HW	– <i>Hardware</i> – fyzické vybavení počítače

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Optický komunikační systém.....	12
2.1	Úvod do problematiky optického komunikačního systému	12
2.1.1	Optický vysílač.....	13
2.1.2	Optický přijímač.....	13
3	Optické bezdrátové spoje	15
3.1	Popis optických bezdrátových spojů	15
3.1.1	Stacionární optické bezdrátové sítě.....	16
3.1.2	Satelitní optické spoje	17
3.1.3	Mobilní optické spoje.....	18
3.2	Laserové bezdrátové spoje	19
3.2.1	FWA - optika vzduchem	19
3.2.2	Mesh struktura.....	23
3.3	Popis zařízení pro optický atmosférický spoj	24
3.4	Atmosférické vlivy na spolehlivost komunikace	25
4	Návrh a realizace měření rozložení výkonu v prostoru.....	27
4.1	Návrh schéma měření.....	27
4.2	Postup měření.....	27
4.2.1	Příprava měřicího pracoviště.....	28
	Příprava překážek pro měření	29
4.2.2	Příprava a nastavení přístrojů.....	30
4.2.3	Měření výkonu na vzdálenost 1 metr	31
4.2.4	Měření výkonu na vzdálenost na 10 metrů	34
4.2.5	Měření výkonu na vzdálenost 20 metrů	34
5	Návrh vzorového protokolu	36
5.1	Zadání.....	36
5.2	Teoretický úvod	37
5.3	Schéma a postup měření.....	37
5.4	Použité pomůcky a přístroje.....	37
5.5	Výsledky měření	38
5.6	Vyhodnocení měření	38
6	Závěr	39

Literatura.....	47
Seznam příloh	48

1 Úvod

Má diplomová práce se zabývá problematikou optického komunikačního systému se zaměřením na optické atmosférické spoje. Tato oblast, jejíž počátky se datují do první poloviny 60. let, prožívá v poslední době velký rozmach. Zcela jistě lze hledat souvislosti mezi stále plnějšími frekvencemi pro mikrovlnné spoje a rychle se zvyšujícími nároky na přenosové rychlosti. Optickým bezdrátovým spojením (FSO) se obvykle rozumí digitální plně duplexní spoj umožňující širokopásmové komunikační přenosy vzduchem při použití neviditelných paprsků světla. Vedle datových spojů lze tyto spoje s výhodou použít i pro přenos hlasu či obrazu. Bez nadsázky můžeme říci, že tato technologie v sobě skrývá přenosovou kapacitu optických sítí i jednoduchost a rychlost instalace bezdrátových spojů [8].

Cílem této diplomové práce je provést měření výkonu ve stanoveném prostoru ve stanovených vzdálenostech a při různých velikostech překážek. Následně z tohoto měření vytvořit vzorový protokol včetně prázdné šablony pro posluchače optických laboratoří.

Druhá kapitola se zabývá rozбором optického komunikačního systému, tedy historií a základní charakteristikou činnosti tohoto systému. V další části této kapitoly jsou charakterizovány optické vysílače, jejich rozdělení a následně popsána funkce dvou hlavních typů diod (LED, LD). Poslední část této kapitoly je věnována popisu optických přijímačů, kde opět bude proveden rozbor jejich činnosti.

Ve třetí kapitole se budu věnovat podrobnějšímu rozboru optických bezdrátových spojů. Opět zde uvedena historie vzniku bezdrátových spojů od funkce Bellova „photophone“ přes satelitní optické spoje až po dnes využívané pevné bezdrátové přístupové sítě (FWA). V jednotlivých podkapitolách budou uvedena použití optických bezdrátových spojů včetně některých praktických příkladů použití, charakteristika laserových bezdrátových spojů, popis FWA včetně porovnání s optickým vedením a s připojením ve volném pásmu. Okrajově zde bude i probírána technologie „mesh“.

Velmi důležitou částí třetí kapitoly bude problematika optických atmosférických spojů. Budou zde popsány ve dvou podkapitolách dvě oblasti. První se částečně zaměří na činnost a popis optického atmosférického spoje. Druhá oblast bude orientována na atmosférické vlivy a spolehlivost komunikace. Zde budou popsány možné vlivy a faktory, které je nutné vést v úvahu při plánování optického spojení.

V praktické části (čtvrtá část této diplomové práce) bude provedeno praktické měření výkonu optického vysílače LED – Link na měřicím rastru, tedy měření rozložení výkonu v prostoru. Tato měření budou realizována na tři stanovené vzdálenosti – 1, 10 a 20 metrů. Na každé z těchto vzdáleností se provedou tři měření – měření bez překážky, měření s malou a velkou překážkou. Součástí této kapitoly bude i přesný postup měření, který se následně uvede do vzorového protokolu tohoto měření.

V páté kapitole navrhnu strukturu a obsah vzorového protokolu. Bude obsahovat standardní strukturu – zadání, teoretický úvod, schéma měření, postup měření, výsledky měření a závěr. Kompletní vzorový protokol z tohoto měření bude obsažen v příloze I. V příloze II bude prázdná šablona tohoto protokolu pro rychlejší zpracování měření studenty.

Šestá kapitola bude tvořena závěrem. Zde zhodnotím výsledky provedeného měření. Zaměřím se na jednotlivá měření na různých vzdálenostech a při různých velikostech překážek. Výstupem budou též grafické zobrazení jak ve dvojrozměrném, tak trojrozměrném prostoru. Dále zde budou probrány podmínky spojení a popřípadě možná doporučení.

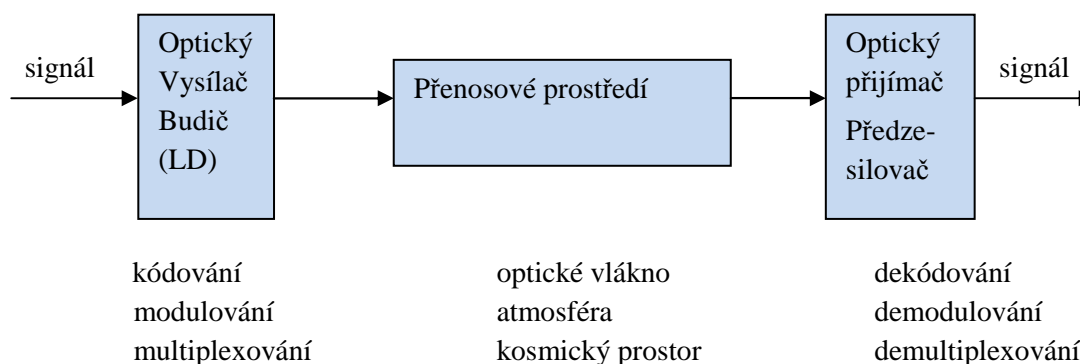
2 Optický komunikační systém

2.1 Úvod do problematiky optického komunikačního systému

Prudký rozmach Internetu silně ovlivnil a změnil tvář moderní společnosti. Tato informační revoluce přitom do značné míry vděčí za svůj vznik rozvoji globálních optických komunikačních sítí, jež umožňují vysokokapacitní přenos dat mezi kontinenty rychlostí světla. Páteří těchto sítí jsou optická vlákna, jimiž se šíří signál v podobě laserových optických pulzů na vlnových délkách v blízké infračervené oblasti, kde tato vlákna vykazují minimální disperzi a útlum. Optický přenos a zpracování informace tak dnes představují velmi významnou součást moderní optiky [1].

Orientace na optickém komunikačním systému v komunikacích je dána řadou předností, které tyto systémy mají vzhledem ke klasickým systémům např. koaxiálním. Na tomto místě je třeba zdůraznit, že obecně zahrnujeme do optických komunikačních systémů jak systémy s optickými vlákny tak i atmosférické spoje. Atmosférické spoje se vzhledem ke značnému útlumu v atmosféře používají jen na krátké vzdálenosti a to stovky metrů až jednotky kilometrů [2].

Optický komunikační systém je zařízení určené k přenosu a zpracování informace pomocí optické nosné vlny, která může být energická nebo vlnově dělena do několika optických kanálů. Skládá se ze tří základních částí: optického vysílače, přenosového prostředí a optického přijímače. Optický komunikační systém zahrnuje řadu specifických členů: modulátory, demodulátory, kodéry, dekodéry, multiplexory, demultiplexory, vazební členy a podobně. Na obrázku 1 je znázorněno základní schéma optického komunikačního systému [2].



Obrázek 1: Základní představa optického komunikačního systému [2]

2.1.1 Optický vysílač

Zdroje záření lze charakterizovat jako prvky, které mění elektrický signál na optický. Zdrojů záření existuje celá řada. V oblasti telekomunikací se však téměř výhradně, díky svým vlastnostem, používají zdroje polovodičové. Ty využívají ke generaci optického záření rekombinaci injektovaných děr a elektronů do oblasti polovodičového přechodu P-N. Volné nosiče jsou do oblasti přechodu injektovány přiložením napětí v propustném směru. Takový optický zdroj se chová z hlediska elektrických parametrů téměř jako klasická polovodičová dioda se dvěma napájecími přívody. Obecně se dají rozdělit do dvou skupin podle stupně spektrální čistoty generovaného světla:

- elektroluminiscenční diody LED,
- polovodičové laserové diody LD.

Polovodičové diody, jak laserové, tak elektroluminiscenční, se vždy budí v propustném směru. Světelná energie (tok fotonů) se generuje u diod LED prostřednictvím spontánní emise, což znamená, že se fotony generují v oblasti přechodu P-N jeden na druhém nezávisle. Pro laserovou diodu je typická stimulovaná emise, u které dochází k rekombinaci dalšího volného páru elektron/díra v oblasti přechodu P-N náhodně generovaným fotonem. Tím se uvolní nový foton, ale původní stimulující nezaniká. Tyto dva fotony, stimulující a nově vzniklý, mohou opět stimulovat vznik dalších dvou fotonů. Fotony se tedy negenerují zcela nezávisle na sobě, ale jeden stimuluje vznik druhého. Takto se účinně u laseru světelná energie násobí. Hlavní rozdíl mezi LED a LD je v tom, že LD vykazuje na svém výstupu podstatně větší optické výkony než LED a její spektrální čistota (koherence) je o několik řádů vyšší [7].

2.1.2 Optický přijímač

Optický detektor je součástka, která převádí optický výkon na výkon elektrický. Opět se setkáme s polovodičovými součástkami těchto typů:

- fotodetektor s jednoduchým PN přechodem – v této ryzí formě se v optických systémech nepoužívá pro svou nízkou citlivost,
- PIN dioda – fotodioda bez vnitřního zisku, do jejíž struktury je přidána speciální vrstva polovodiče zvětšující její citlivost a účinnost,
- APD – lavinová fotodioda s vnitřním ziskem – uvnitř této diody dochází vlivem silného elektrického pole (velké závěrné napětí) k lavinovému vzniku volných elektronů (primárně uvolněné elektrony díky dopadu fotonů na přechod P-N se tím účinně

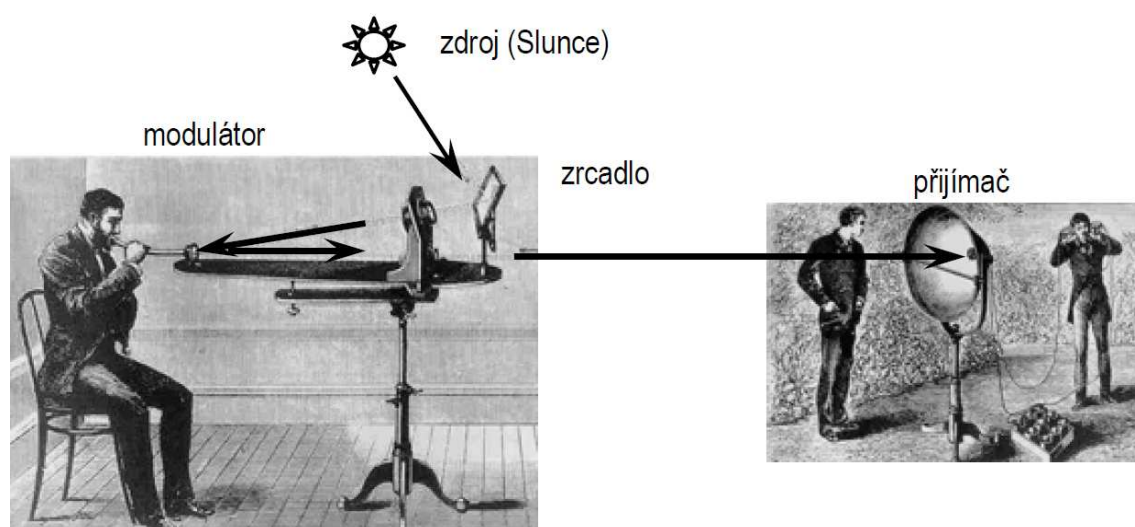
násobí), čímž se zvětšuje citlivost v porovnání s diodou PIN. Jednoduše je možné si to představit jako fotodioda PIN s vnitřním proudovým zesilovačem.

V přijímačích optických komunikačních systémů se polovodičový prvek používá jako pasivní detektor, tedy polarizuje se výhradně v závěrném směru.

3 Optické bezdrátové spoje

3.1 Popis optických bezdrátových spojů

Historicky první zařízení, které pracovalo na základě přenosu informace optickým svazkem a svých charakterem odpovídalo optickým bezdrátovým spojům (OBS) tak, jak je chápeme v dnešní době – bylo patentováno A. G. Bellem a jeho spolupracovníkem Ch. S. Tainterem v roce 1880. Bell považoval „photophone“ za svůj největší vynález, dokonce větší než telefon. Zdrojem světla u photophonu bylo Slunce, které ozařovalo systém zrcadel, z nichž jedno mělo funkci modulátoru. Modulační zrcadlo bylo vychylováno lidským hlasem a způsobilo změny optické intenzity na selenovém článku v přijímači. Změny detekovaného optického výkonu byly v přijímači přeměněny na elektrický proud a pomocí sluchátek opět na lidský hlas. Proces přenosu uskutečněný photophonem je znázorněn na obrázku 2.



Obrázek 2: Znázornění funkce Bellova „photophonu“ [upraveno z 3]

Technologie Bellova photophonu nemohla zajistit požadovanou kvalitu komunikace, ale jednalo se o historicky první zařízení, které prakticky demonstrovalo funkci optického bezdrátového spoje. Rádiová komunikace předvedená Marconim v roce 1895 měla rychlejší rozvoj.

Větší pokrok optických bezdrátových spojů byl možný až po úspěších v oblastech laserové technologie, laserových diod, fotodiod a optických vláken. Podle umístění terminálů se OBS dělí na spoje pracující v uzavřeném prostoru (indoor) a spoje pracující vně budov (outdoor). Vnější OBS lze rozdělit na atmosférické (stacionární a mobilní) a satelitní (pracující v blízkém nebo vzdáleném kosmu) [3].

3.1.1 Stacionární optické bezdrátové sítě

Dnes se optickým bezdrátovým spojem (OBS) - v zahraniční literatuře označovaným zkratkou FSOL (free space optical link) - rozumí komunikační technologie, která přenáší signál v atmosféře pomocí optických svazků. Ve vysílači může být použit laser, laserová dioda (LD) nebo infračervená elektroluminiscenční dioda (IRED). V přijímači bývá použita fotodioda typu PIN nebo lavinová fotodioda (APD). Využívají se pásma 850 nm, 1060 nm nebo 1550 nm, avšak experimentuje se i na jiných vlnových délkách. Zpravidla se jedná o přenos informace v digitální duplexní podobě.

OBS jsou zajímavé z několika důvodů:

- Jejich použití není v současné době vázáno na licenční řízení.
- Pracují v rozsahu optických vlnových délek a nedochází tedy ke znečišťování životního prostředí vyzařováním elektromagnetické energie na radiových frekvencích.
- Díky velmi úzkému svazku (řádově miliradiány) mohou být rušeny nebo odposlouchávány jen velmi obtížně.
- Nemají postranní vyzařování. Případný narušitel musí prakticky vstoupit do svazku, což lze monitorovat.
- Potenciál OBS z hlediska šířky pásma přenosu odpovídá možnostem vláknové optiky a jsou tedy přirozeným článkem moderních kabelových optických sítí.
- Mohou pracovat v režimu jednofotonového přenosu technikou distribuce kvantových stavů fotonů umožňující aplikaci optické kvantové kryptografie s vysoce zabezpečeným přenosem utajovaných zpráv.

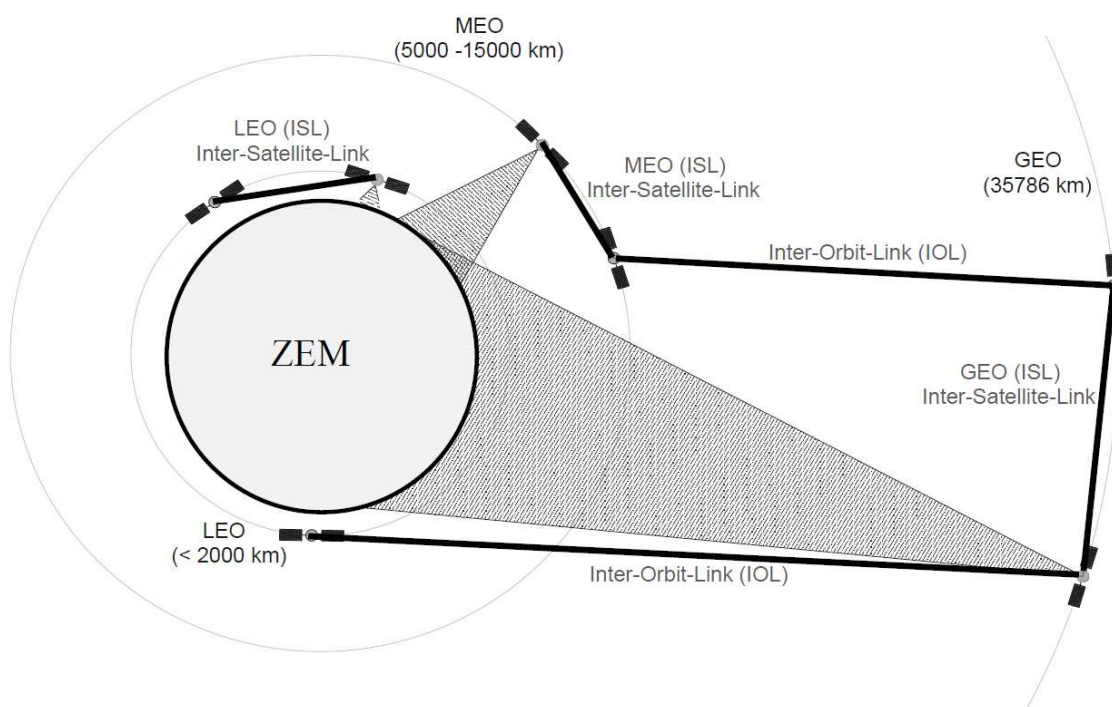
Určitá nedůvěra k těmto spojmům vychází z představy „silné“ závislosti dostupnosti spoje na stavu počasí a z potřeby přímé viditelnosti mezi hlavicemi. V mnoha konkrétních případech se však ukázalo, že OBS požadavkům moderní komunikace vyhovují. Odolnost OBS vůči rozmarům počasí se řeší výkonovou rezervou spoje, dostatečnou oblastí dynamiky přijímače nebo použitím zálohového mikrovlnného spoje, či speciálního kódovacího nebo adaptivního systému. Někteří výrobci používají vícesvazkové šíření. Při aplikaci spojmů v městské síti je možno ke zvýšení spolehlivosti použít tzv. „mesh“ strukturu uspořádání spojmů. Kaskádním uspořádáním spojmů se řeší problém spojený s požadavkem přímé viditelnosti mezi hlavicemi spoje [3].

3.1.2 Satelitní optické spoje

Relativně malá hmotnost, malé rozměry a malá spotřeba elektrické energie přenosových terminálů spolu se schopností vysoké přenosové rychlosti a vysokého zabezpečení přenosu činí optické spoje perspektivními pro použití v kosmickém prostoru (satelitní optické spoje).

Terminály satelitního optického spoje mohou být nesený satelitem Země na některé oběžné dráze.

Využití optického spoje pro komunikaci mezi satelity, jako alternativní technologie k rádiovému spoji, bylo ověřeno v rámci projektu SILEX (Semiconductor-laser Inter-satellite Link Experiment) podporovaného institucí ESA (European Space Agency). Významný pokrok v satelitní komunikaci nastal v březnu 2006, kdy se podařilo institucím JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) a NICT (National Institute of Information and Communication Technology) provést experiment s laserovým svazkem, při kterém byla ověřena optická komunikace mezi družicí OICETS a pozemskou stacionární stanicí NICT v Koganei, Tokio [3].

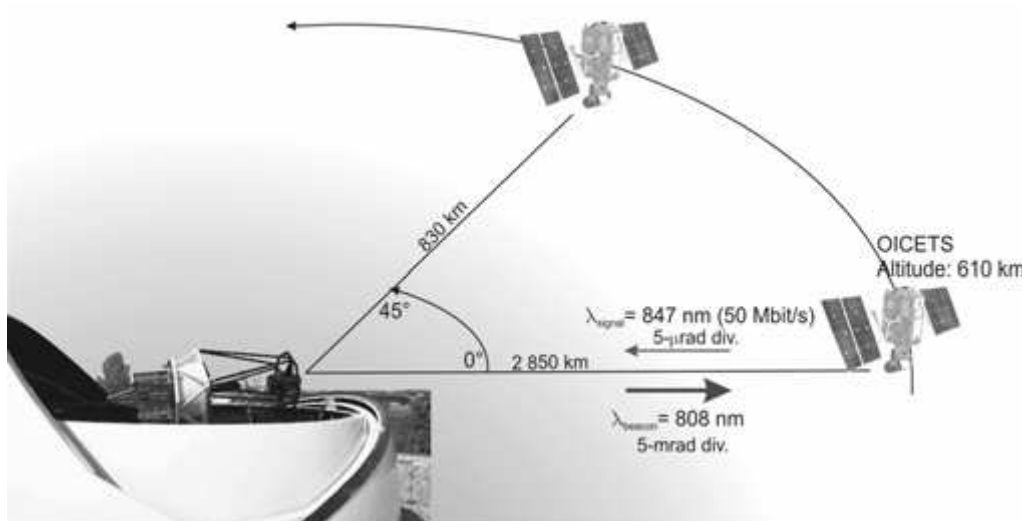


Obrázek 3: Vzájemné polohy družice OICETS a mobilní pozemské stanice OGS-OP

3.1.3 Mobilní optické spoje

Mobilním optickým spojem (M-FSOL; mobile free-space optical link) se rozumí OBS, u kterého se vzájemná poloha komunikujících stanic mění. M-FSOL musí zvládnout komunikaci mezi navzájem se pohybujícími stanicemi při relativně vysokých vzájemných rychlostech pohybu. Pozemské stanice mohou být nesený prostředky pohybujícími se na hladině vody nebo na nerovném terénu. M-FSOL používají ke komunikaci nejen pozemské, ale i vzdušné a kosmické stanice. M-FSOL mají oproti stacionárním spojům vysoké požadavky na přesnost vzájemného zamíření a sledování komunikujících stanic. Reálnost a prospěšnost technologií M-FSOL potvrdily experimenty, na kterých významným podílem participovaly evropské instituce. Např. v rámci experimentu KIDDO (Kirari Optical Downlink to Oberpfaffenhofen).

Optický satelitní terminál byl během přeletu japonského satelitu „Kirari“ OICETS (LEO, výška asi 610 km) zaměřen na mobilní německou zemskou stanici OGS-OP (Optical Ground Station Oberpfaffenhofen) ve Wesslingu. Při přenosu byla použita intenzitní modulace a přímá detekce (IM/DD). Přenosová rychlost dat byla 50 Mb.s^{-1} s chybovostí menší než 10^{-6} [3].



Obrázek 4: Vzájemné polohy družice OICETS a mobilní pozemské stanice OGS-OP

3.2 Laserové bezdrátové spoje

Atmosférický optický spoj (AOS) je spoj, který pro přenos informace používá optickou nosnou vlnu šířící se v atmosféře. Optický výkon je soustředěn do jednoho nebo více optických svazků. Optický svazek může obsahovat několik optických kanálů. (Aplikace AOS je vhodná v situacích, v nichž použití optického kabelu je nemožné a požadovaná přenosová rychlost je pro mikrovlnný spoj příliš vysoká.)

Rostoucí nároky na objem přenášených dat vrhají nové světlo na komunikační systémy, které stály v minulosti na pokraji zájmu. K nim bezesporu patří atmosférické bezdrátové laserové spoje, atraktivní svou nabídkou bezlicenčního provozu a vysokými přenosovými kapacitami. Bezdrátové přenosové technologie nabízejí možnosti rychlejšího i levnějšího rozšíření komunikačních sítí do míst a objektů, kde klasické metalické kabeláže či optická vlákna nemohou být efektivně využity.

Zájem o laserové bezdrátové spoje je spojen s jejich schopností poskytnout velmi široké přenosové pásmo, o několik řádů převyšující možnosti rádiových systémů. Optický přenos byl poprvé patentován již v roce 1880 Alexandrem Grahamem Bellem, který předvedl schopnost přenést mluvenou řeč na dálku pomocí paprsku světla.

O sto let později dostal výzkum laserové komunikace volným prostorem významný impuls se zahájením Reaganovy Strategické obrané iniciativy (SDI), která stavěla na vysokokapacitních laserových přenosech mezi hlídkujícími družicemi a pozemními řídicími stanovišti s vysokou spolehlivostí a bezpečností přenášených informací [4].

3.2.1 FWA - optika vzduchem

Termín FWA (Fixed Wireless Access) označuje pevné bezdrátové přístupové sítě, využívané pro poskytování telekomunikačních služeb firmám a organizacím. V České republice se pro FWA v současnosti využívá kmitočtové pásmo 26 GHz. Sítě FWA jsou kvalitou a spolehlivostí ekvivalentní pozemním optickým sítím a navíc mají celou řadu výhod.

FWA technologie

Síť FWA je pevná bezdrátová přístupová síť typu point-to-multipoint. Na rozdíl od spojů bod-bod (point-to-point), v nichž spolu vždy komunikují dva rovnocenné koncové body a které jsou vhodné především pro páteřní sítě, topologie point-to-multipoint lépe vyhovuje pro

připojení uživatelů telekomunikačních služeb, tedy pro přístupové sítě. Umožňuje totiž koncentrovat provoz od většího počtu uživatelů do jednoho uzlu, aniž pro každou přípojku bylo nutné instalovat v tomto uzlu další anténu.

Síť FWA se skládá ze dvou hlavních stavebních prvků: základnových stanic (uzlů) a účastnických terminálů. Základnová stanice zabezpečuje pokrytí zvoleného území signálem a napojení na páteřní síť; její provoz je zcela v režii operátora sítě FWA. S touto stanicí komunikují jednotlivé účastnické terminály, které se instalují u zákazníka. Vzhledem k použitému kmitočtovému pásmu je podmínkou přímá viditelnost mezi anténami účastnického terminálu a základnové stanice.

Z hlediska uživatele je koncovým bodem sítě účastnický terminál, konkrétně pak příslušné rozhraní (port), na němž je definována poskytovaná služba.

Díky svým vlastnostem představuje FWA univerzální širokopásmové přenosové prostředí vhodné k poskytování celé řady telekomunikačních a datových služeb s vysokou spolehlivostí a garantovanými parametry. FWA v sobě spojuje hlavní výhody optických vedení (vysoká spolehlivost) a bezdrátových spojů (krátká doba instalace).

Srovnání s optickým připojením

Často je technologie FWA srovnávána právě s optickým vedením, protože je schopna poskytnout podobné služby a ve stejné kvalitě. Důležitá kritéria pro porovnání vlastností a možností obou typů sítí jsou tato:

Přenosová rychlost

Optickým vedením lze teoreticky přenášet data rychlostmi v řádu Gb.s^{-1} až Tb.s^{-1} , což je přímo předurčuje k nasazení v páteřních sítích. Pro přístupové sítě je taková propustnost v drtivé většině případů prakticky nevyužitelná, naopak FWA je při rychlostech do 8 Mb.s^{-1} pro dnešní i budoucí komerční aplikace ideální.

Kvalita

Kvalita přenosové trasy se vyjadřuje zpravidla chybovostí BER (bit error rate), u pronajatých okruhů je standard 10^{-9} nebo lepší. Vzhledem k tomu, že pásmo 26 GHz je vyhrazené (licencované), a nehrozí zde rušení jinými vysílači, poskytují spoje FWA stejnou kvalitu jako optická vedení.

Spolehlivost

Díky vyhrazenému kmitočtovému pásmu pro FWA je reálně dosahovaná spolehlivost obou technologií srovnatelná. U optických sítí se zvyšuje "zakruhováním" za cenu vyšších nákladů. Při využití redundantního spoje FWA lze dosáhnout stejného efektu. V obou případech je spolehlivost vyšší, než u běžné (metalické) pozemní linky.

Doba realizace

U bezdrátových spojů je zřízení přípojky z principu podstatně rychlejší než u pozemních vedení. To je zvláště významné v dnešní době, kdy vývoj ekonomiky vyžaduje rychlé přizpůsobování velikosti i struktury firem měnícím se podmínkám - stěhování, rozdělování či slučování společností je poměrně časté.

Cena

FWA dnes nabízí nejlepší poměr výkon/cena na telekomunikačním trhu. Nevyžaduje žádné investiční náklady a díky své flexibilitě a rezervě kapacity se snadno přizpůsobí stávajícím i budoucím potřebám.

Srovnání s připojením ve volném pásmu

Z bezdrátových technologií lze např. srovnávat mikrovlnné spojení ve volném (nelicencovaném) pásmu 2,4 GHz, protože jsou na českém trhu nejrozšířenější. Důležitá kritéria pro porovnání vlastností a možností obou typů sítí jsou tato:

Přenosová rychlost

Výrobci zařízení pro pásmo 2,4 GHz uvádějí maximální přenosovou rychlost až 11 Mb.s^{-1} , ale tato kapacita je při připojení více uživatelů k jednomu uzlu sdílená a závisí na vzdálenosti. Navíc ji není možné nijak garantovat, protože ve volném pásmu nelze předvídat rušení jinými uživateli. Reálně se tedy pracuje s rychlostmi do 256 kb.s^{-1} , naproti tomu FWA umožňuje skutečně trvale zaručit až 8 Mb.s^{-1} .

Kvalita

Srovnání kvality přenosové trasy na úrovni BER (bit error rate) v tomto případě není možné, protože bitově transparentní pronajatý okruh u běžných systémů v pásmu 2,4 GHz nelze poskytnout. Každopádně však platí, že parametry služby nelze na rozdíl od FWA nijak objektivně garantovat, protože není možné ovlivnit nebo předvídat rušení jinými uživateli.

Spolehlivost

Díky vyhrazenému kmitočtovému pásmu je reálně dosahovaná spolehlivost FWA podstatně vyšší. U spojů v pásmu 2,4 GHz není možné ovlivnit nebo předvídat výpadky sítě způsobené rušením jinými uživateli.

Doba realizace

Doba realizace je v obou případech srovnatelná. Výhodou FWA je, že díky vyhrazenému kmitočtovému pásmu nehrozí případné zdržení způsobené „laděním“ a hledáním nejlepšího signálu. Při získávání povolení k instalaci účastnického terminálu také mohou hrát roli rozměry antén, které jsou u FWA díky vyšším frekvencím menší.

Cena

Nižší investiční náklady a volné kmitočtové pásmo hrají ve prospěch 2,4 GHz. FWA však nabízí nesrovnatelně vyšší kvalitu a spolehlivost, a také širší sortiment služeb a více než dostatečnou rezervu kapacity pro zvyšování rychlosti i další služby v budoucnu.

Poskytované služby

FWA je z pohledu uživatele zcela transparentní a žádným způsobem ho neomezuje ve výběru požadovaných služeb - takže pokud dnes využíváte např. pronajaté okruhy ("pevné linky"), poskytne vám FWA tutéž službu ve stejné nebo lepší kvalitě. FWA je skutečně unikátní v tom, že v jedné síti, na jedné přípojce a především se stejnou kvalitou a spolehlivostí dokáže poskytnout jak "klasická" telekomunikační rozhraní a služby (např. pronájem okruhů nebo Frame Relay), tak přímé připojení datové sítě Ethernet. FWA je tedy ideální připojení pro období dnes často skloňované konvergence sítí, protože všechny tyto možnosti jsou k dispozici současně. To přináší jednoznačné výhody:

- díky FWA vám alternativní telefonní operátoři mohou rychleji a efektivněji nabídnout své služby,
- FWA chrání vaše investice do stávajících přístupových zařízení - propojení poboček nevyžaduje žádné změny v hardwaru ani konfiguraci, bude pouze rychlejší a cenově výhodnější,
- rozhraní Ethernet zjednoduší a zlevní vaše připojení k Internetu nebo vytvoření firemní VPN (virtuální privátní sítě),

- instalovaná přípojka má dostatečnou rezervu rozhraní i přenosové kapacity pro budoucí aplikace.

Znovu je třeba připomenout, že FWA je "pouze" transparentní, širokopásmová přípojka, sloužící pro poskytování telekomunikačních a datových služeb. Klíčový rozdíl tedy není jen v technologii, ale především v rychlosti, kvalitě, spolehlivosti a univerzálnosti. Konkrétní nabídka služeb pak závisí na využití těchto možností poskytovatelem. Prostřednictvím FWA je možné využívat např. tyto služby:

- telefonní služby,
- služby pronájmu telekomunikačních okruhů,
- datové služby Frame Relay,
- propojení sítí Ethernet (VLAN),
- virtuální privátní sítě (VPN),
- připojení k Internetu.

Na jedné přípojce FWA lze přitom ukončit více služeb současně. [5]

3.2.2 Mesh struktura

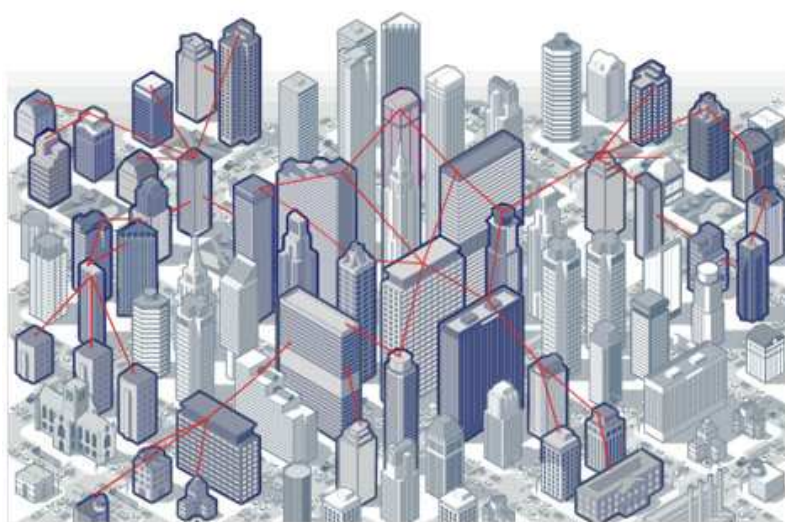
Struktura point-to-point i point-to-multipoint, představuje hrozbu toho, že lokální porucha vyřadí z provozu celý komunikační uzel či komunikační cestu k zákazníkovi. Tyto "klasické" topologie je možno při budování přístupové sítě nahradit síťovou strukturou označovanou jako "mesh".

Relativně levné a snadno instalovatelné optické spoje jsou použity k vytvoření násobného vzájemně redundantního propojení jednotlivých přístupových bodů s výstupem páteřní transportní sítě (point of presence). Koncové přístupové komunikační zařízení - access router pak pouze vhodným směrovacím algoritmem (OSPF, RIP, . . .) zajišťuje výběr optimální trasy dat z point of presence do přístupového bodu. Mesh (volně lze přeložit jako oko sítě) tak eliminuje vliv lokální poruchy komunikačního HW na celistvost sítě, ale podstatně redukuje i působení dalších jevů jako je ztráta nasměrování pohybem kotvících objektů a atmosférický útlum. Redundance v přenosových trasách tak může vlivy, které nepůsobí plošně, ale náhodně v čase i místě, potlačit až k získání časové využitelnosti přístupu k datům 99,999 %, tedy k hodnotě, o níž sní všichni datoví a telekomunikační operátoři. Obvykle navíc v místní

zástavbě lze mesh topologii vybudovat s poměrně krátkými příčkami 200 - 500 m, takže i časová využitelnost jednotlivých linek spoje může dosahovat čtyř devítek.

Umístění laserových jednotek na střechy objektů dále eliminuje vlivy mlhy a aerosolů, jejichž hustota zpravidla klesá s rostoucí výškou nad terénem. Poslední výhodou mesh struktury je snadno dosažitelná vysoká přenosová kapacita sítě, rychlost a snadnost její instalace a nepřítomnost jakýchkoliv rušení či interference.

Laserové linky se tak stávají více než přijatelnou alternativou radiových multipoint systémů pro budování datového přístupu v městech a příměstských průmyslových zónách [4].



Obrázek 5: příklad uspořádání spojů do polygonální (mesh) topologie

3.3 Popis zařízení pro optický atmosférický spoj

Zdrojem optického paprsku je laser, který spolu s optickou soustavou vysílá paprsek o průměru cca 40 mm. Většina systémů používá rozhraní s multimode vláknem s vlnovou délkou až 1300 nm.

Každý spoj se skládá ze dvou stanic, z nichž každá má optický vysílač a přijímač spojený s obvodem pro zpracování signálu. Laserový paprsek přenáší na vzdálenou stranu data o rychlosti od 155 Mb.s^{-1} . Protože se zařízení běžně instaluje ve venkovním prostředí, je veškerá optika a elektronika umístěna ve vodotěsné skříni. Emitovaný infračervený neviditelný paprsek je modulován datovým tokem.

Poté, co paprsek projde volnou atmosférou je pomocí optiky zaostřen do přijímače. Velká čočka přijímače zajišťuje dostatečnou amplitudu přijímaného signálu i při zhoršených klimatických

podmínkách. Všechny systémy jsou pro snadnou instalaci vybaveny zaměřovacími dalekohledy, testovacími generátory a indikátory úrovně. Použití těchto nástrojů dovozuje nastavit spoj bez připojení do sítě a dalších pomůcek. Bezdrátové optické spoje prokazují vysokou spolehlivost. Optické spoje mají proti nežádoucímu odposlechu vynikající ochranu. Přenos je neviditelný a šířka paprsku je velmi úzká. Pokus o odposlech by způsobil přerušení paprsku a tedy i spojení, čehož by si uživatel ihned všiml.

Pro správnou funkci zařízení a pro vysokou dostupnost spoje je velmi důležitá správná a pečlivá instalace zařízení. Pro umístění zařízení je nutné vybrat místo s přímou viditelností na protější stranu a přivést napájení. Při požadavku vybudování spoje na větší vzdálenost mohou být zařízení zapojena do kaskády. Běžná je i instalace v interiéru za oknem, třeba v případě, že by zařízení mohlo narušovat vzhled historické budovy [6].

3.4 Atmosférické vlivy na spolehlivost komunikace

Optická vlákna a FWA technologie mají mnoho stejných vlastností, které se potýkají s různými problémy se způsobem předávání informací. Optické bezdrátové sítě založené na technologii FWA musí být navrženy tak, aby byly připraveny proti změnám v atmosféře, které mohou ovlivnit výkon a kapacitu systému FWA. Optická pojítka většinou fungují bez jakýchkoliv problémů i při zhoršené viditelnosti. Pojítka mají dostatečnou rezervu výkonu pro funkci za nepříznivých podmínek. Největším omezením optické komunikace volným prostorem je mlha. Mlha má mimořádně nepříznivý vliv na celkový útlum přenosové trasy, rapidně klesá maximální možná komunikační vzdálenosti. Silná mlha je značným omezením optických pojítek při komunikační vzdálenosti větší než cca 100 m. Všechny případné poruchy lze řešit důkladným plánováním příslušné sítě. Při plánování optického spojení je třeba zvážit následující faktory:

- Mlha - hlavním problémem je hustá mlha. Déšť a sníh má jen malý vliv na FWA na rozdíl od mlhy. Ta se skládá z vodních kapiček, které mají jen pár stovek mikrometrů v průměru, které upravují vlastnosti světla nebo úplně brání průchodu světla přes kombinaci absorpce, rozptylu a odrazu.
- Absorpce – objevuje se, když v molekulách vody v zemské atmosféře zanikají fotony. To způsobuje pokles hustoty výkonu a přímo ovlivňuje dostupnost systému. K absorpci snadněji dochází na některých vlnových délkách.

- Rozptyl - je způsoben srážkou vlnové délky a rozptylující látkou. Fyzická velikost rozptylující látky určuje typ rozptylu. Když rozptylující látka je menší než vlnová délka, je známý jako Rayleighův rozptyl. Když rozptylující látka je srovnatelné velikosti k vlnové délce, je nazýván jako Mieovým rozptylem. Když rozptylující látka je mnohem větší než vlnová délka, je toto známé jako non-selektivní rozptyl. V rozptylu na rozdíl od absorpce nedochází ke ztrátě energie, pouze směrové přerozdělování energie, která může mít za následek významné snížení intenzity světla pro delší vzdálenosti.
- Fyzické překážky - létající ptáci nebo stavební jeřáby mohou dočasně blokovat jeden paprsek FWA systému, ale to způsobuje jen krátké přerušení.
- Stavební pohyb / seizmická aktivita - pohyby budov mohou narušit zarovnání přijímače a vysílače.

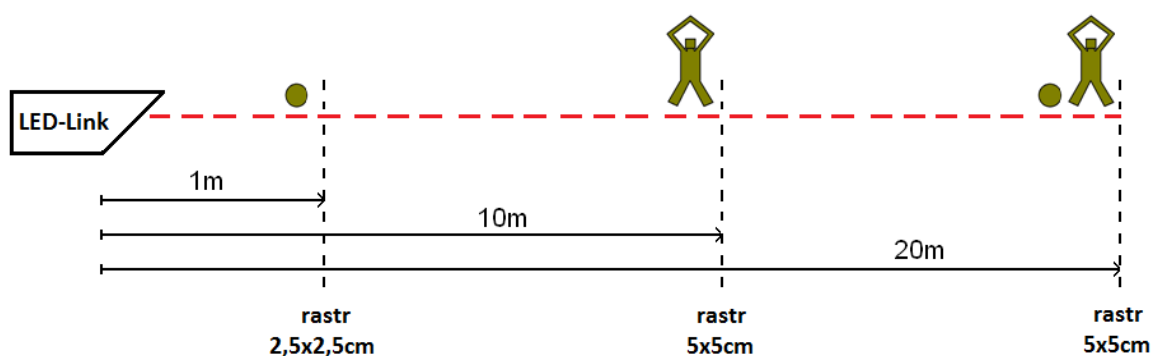
4 Návrh a realizace měření rozložení výkonu v prostoru

4.1 Návrh schéma měření

Dle stanovených kritérií pro měření je stanoveno, že měření se má provést ve třech fázích – měření na vzdálenost 1, 10 a 20 metrů. Každá fáze se dělí na další tři podměření – měření bez překážky (slouží k následnému porovnání), měření s malou a následně velkou překážkou. Při měření na 20 metrů budeme pro vyšší přesnost realizovat měření dvakrát. Celkově tedy provedeme sérii jedenácti měření. Dalším stanoveným kritériem je přesnost měření, které je dáno následovně:

- na 1 metr přesnost rastru 2,5 x 2,5 cm,
- na 10 a 20 metrů přesnost rastru 5 x 5 cm.

Dle zadání jsem navrhl grafické schéma měření výkonu (obrázek 6), kde jsou zobrazeny jak druhy překážek, tak i jednotlivé přesnosti měření.



Obrázek 6: Schéma měření

4.2 Postup měření

Příprava měření a samotné měření je rozděleno do několika fází:

- fáze první – příprava měřicího pracoviště,
- fáze druhá – příprava a nastavení přístrojů,
- fáze třetí – měření výkonu na vzdálenost 1 metr,
- fáze čtvrtá – měření výkonu na vzdálenost 10 metrů,
- fáze pátá – měření výkonu na vzdálenost 20 metrů.

4.2.1 Příprava měřicího pracoviště

Zprovoznění zařízení LED – Link, tedy připojení ke zdroji napájení, nastavení vysílače do provozního módu.

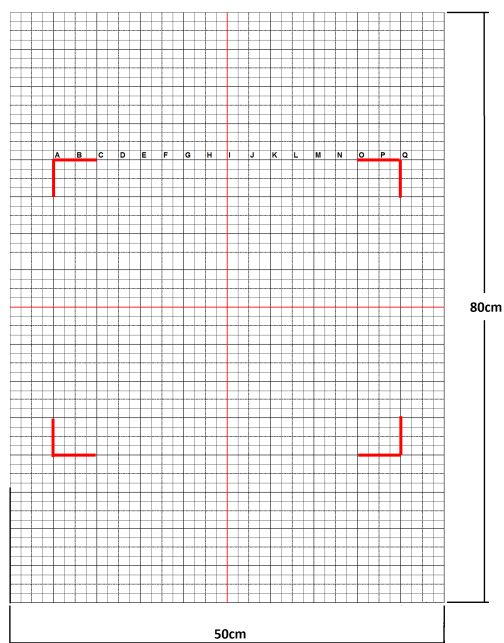


Obrázek 7: LED – Link WL4E1



Obrázek 8: Provozní mód

Dále připravíme rastr, pomocí kterého změříme rozložení výkonu v prostoru. Použijeme rastr o velikosti minimálně 80 x 50 cm s jednotkou rastru 5 mm.



Obrázek 9: Měřicí rastr

Pro umístění rastru do správné výšky tak, aby protnul osu optického vysílače, je použit méně využívaný stojan RACK 19'' jednoduchý s pohyblivou poličkou TOOLLESS.



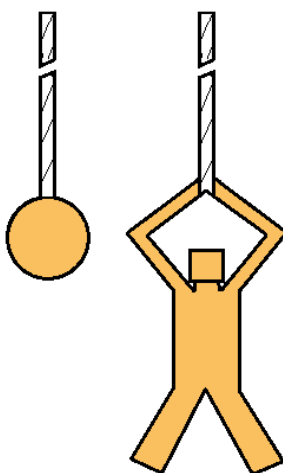
Obrázek 10: RACK 19'' jednoduchý



Obrázek 11: Polička TOOLLESS

Příprava překážek pro měření

Použijeme překážky ve dvou provedeních – malá překážka v podobě míčku na stolní tenis zavěšený na 70 cm dlouhé niti a velká překážka v podobě figury člověka taktéž zavěšena na niti (obrázek 12). K usnadnění zavěšení překážek před rastr použijeme 2 m dlouhou lať.



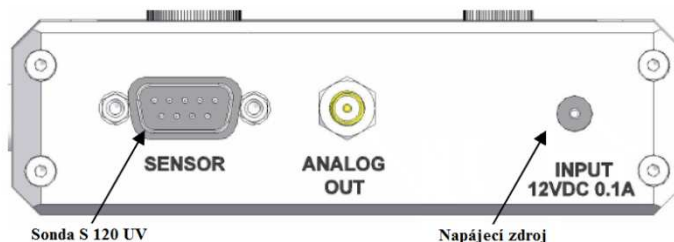
Obrázek 12: Malá a velká překážka

Velice důležitým krokem v přípravách k měření je provedení maximálního zatemnění prostoru od vnějšího světla, které může silně ovlivňovat přesnost měření.

4.2.2 Příprava a nastavení přístrojů

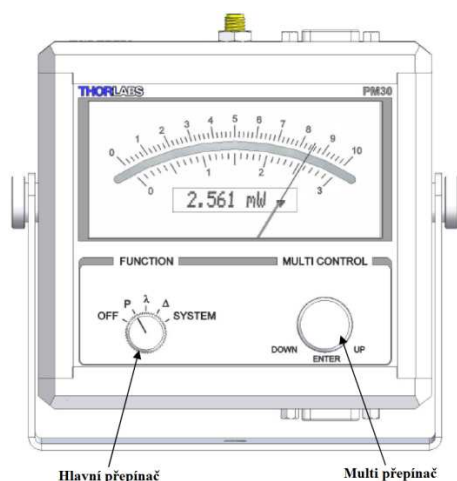
Ve druhé fázi zprovozníme a nastavíme wattmetru ThorLabs PM30 a to následujícím postupem:

- ve vypnutém stavu připojíme k wattmetru sondu S 120 UV,
- k wattmetru připojíme napájecí zdroj, který následně připojíme do elektrické sítě,



Obrázek 13: Horní strana PM30

- hlavní přepínač v oblasti Function přepneme do polohy λ (obrázek 14),
- zde nastavíme požadovanou vlnovou délku 900 nm, na které budeme realizovat daná měření připojenou sondou,
- pro nastavení vlnové délky postupujeme takto:
 - stlačením multi přepínače (ENTER) aktivujeme číselnou pozici (tisíce, stovky, desítky, jednotky),
 - s každým dalším stlačením se přepínáme mezi číselnými řády,
 - následně v daném řádu měníme hodnotu cifry otáčením přepínače do krajních pozic (DOWN, UP),
 - zadávání či změnu ukončíme přepínáním mezi řády tak dlouho, dokud řád nepřestane blikat.
- po provedení nastavení vlnové délky pro připojenou sondu přepneme hlavní přepínač do polohy *P* a otočným přepínačem směrem vpravo (UP) nastavíme nejvyšší rozsah pro první měření,
- přístroj je připraven k měření.

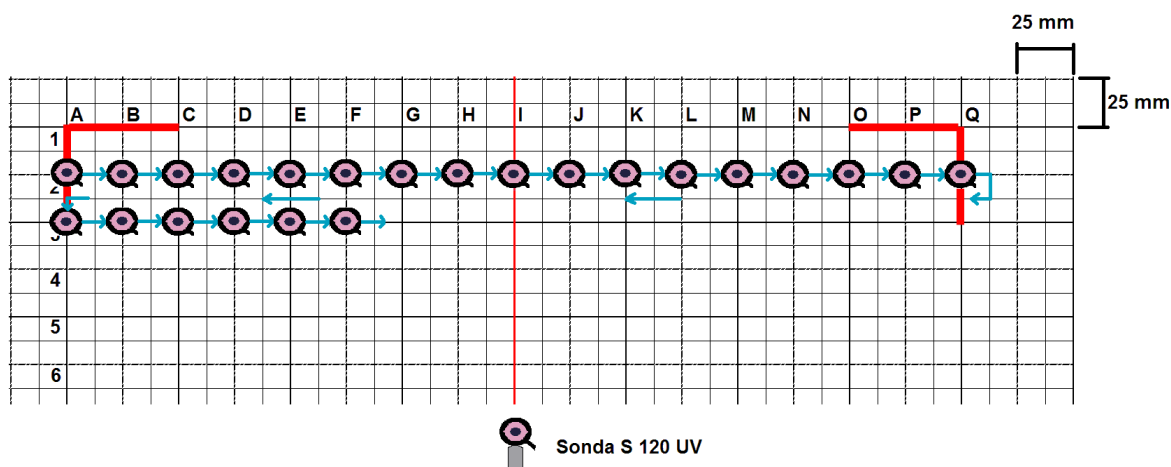


Obrázek 14: Čelní panel PM30

4.2.3 Měření výkonu na vzdálenost 1 metr

Stojan RACK postavíme do přibližné vzdálenosti 1 metr od optického vysílače LED – Link. Na polici Toolless položíme rastr kratší stranou. Následně pomocí měření wattmetrem a posouváním police ve svislých směrech umístíme rastr do takové polohy, aby výkon optického vysílače směřoval do středu měřicího rastru. Následně rastr připevníme ke stojanu např. upínacím gumovým popruhem a pomocí laserového měřiče BOSCH PLR 30 nastavíme rastr přesně 1 metr od optického vysílače. Wattmetrem zjistíme nejnižší hodnoty výkonu v souřadnicích rastru. Tuto oblast si vyznačíme v rozích tužkou, aby tyto meze mohly být pro další měření vymazány.

Dle zadání provedeme všechna měření s přesností 2,5 x 2,5 cm a první měření realizujeme bez překážky. Měření provádíme tak, že sondu vždy postupně přikládáme na stanovené po sobě jdoucí souřadnice, které jsou od sebe vzdáleny na každou stranu 2,5 cm (obrázek 15).



Obrázek 15: Příklad měření na souřadnicích 2A-Q až 3A-F při vzdálenosti 1 metr

Odečtené hodnoty na jednotlivých souřadnicích zapisujeme do předem připravené tabulky (tabulka 1). Naměřené hodnoty budou uváděny s přesností na 2 desetinná místa. Součástí všech tabulek bude označení, o jaké se jedná měření (bez překážky, atd.), jednotku výkonu, vzdálenost překážky od měřicího rastru a výkon denního světla v průběhu daného měření.

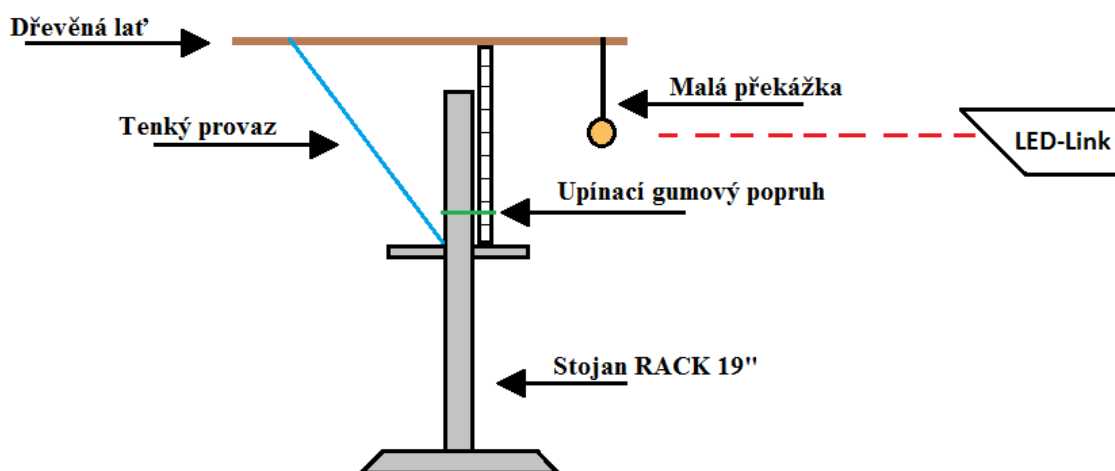
Bez překážky **P [μ W]** **okolní prostředí [μ W]** **vzdálenost překážky - [cm, m]**

-	A	B	C	D
1								
2								
3								
...								
...								
...								
...								

Tabulka 1: Vzorová tabulka pro naměřené hodnoty

Měření s malou a velkou překážkou

Po provedení měření s překážkami využijeme dřevěnou lať, kterou položíme na rastr tak, aby jeden konec latě byl umístěn před rastrem a druhý pomocí provazu přitažen ke stojanu (obrázek 16). Před rastr na lať zavěsíme malou (velkou) překážku do takové výšky, aby zasahovala přibližně střed měřené oblasti (obrázek 17). Poté provedeme měření stejným způsobem, jako bylo provedeno na vzdálenost 1 metru. Před každým měřením odečteme výkon světla okolního prostředí.



Obrázek 16: Upevnění překážky

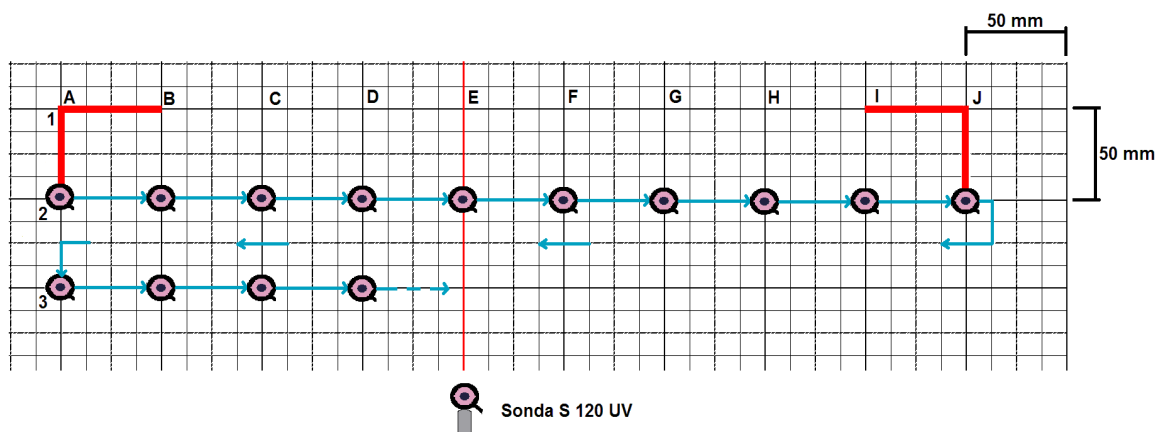


Obrázek 17: Umístění malé překážky

4.2.4 Měření výkonu na vzdálenost na 10 metrů

Stojan s rastrem umístíme do přibližné vzdálenosti 10 metrů od optického vysílače a pomocí laserového měřiče BOSCH dostavíme rastr přesně na stanovenou vzdálenost. Opětovně pomocí měření wattmetru a posunováním police umístíme rastr tak, aby výkon optického vysílače směřoval do středu rastru. Provedeme wattmetrem měření výkonu okolního prostředí a nejnižší hodnoty výkonu v souřadnicích rastru. Nové meze měřené oblasti vyznačíme do rastru (původní se vymažou, aby nedocházelo ke zbytečným měřením a nejasnostem).

Měření zahájíme bez překážky a provedeme všechna měření stejná jako u měření na 1 metr, ale s přesností 5 x 5 cm.



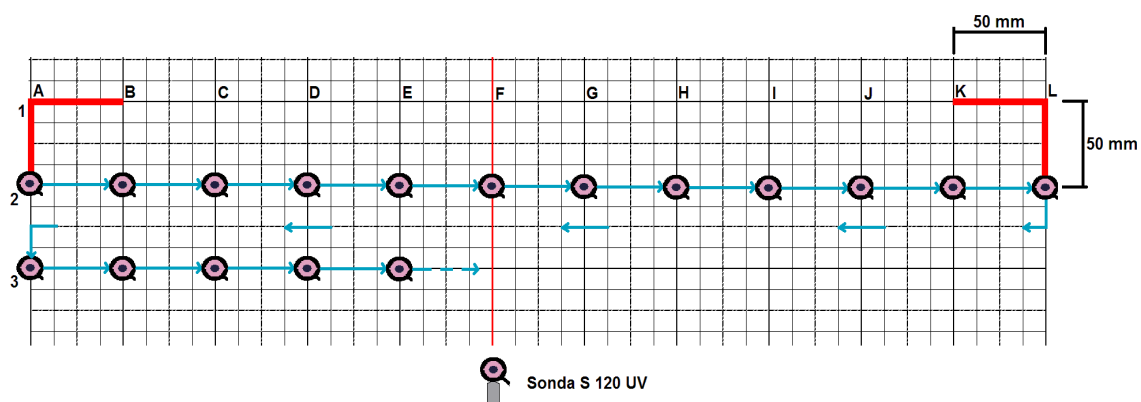
Obrázek 18: Příklad měření na souřadnicích 2A-J až 3A-D při vzdálenosti 10 metrů

Měření na malé a velké překážce provádíme obdobně jako u měření na 1 metr. U každého měření musí být provedeno měření výkonu denního světla a pomocí laserového měřiče vzdálenost překážek od optického vysílače. Tyto hodnoty následně mohou sloužit pro porovnání s výsledky jiných měření na dané vzdálenosti a překážce.

4.2.5 Měření výkonu na vzdálenost 20 metrů

Obdobným způsobem jako měření na 10 metrů, provedeme měření na 20 metrů. Přesnost měření zůstává stejně jako měření na 10 metrů, tedy 5 x 5 cm. Velice důležité je změřit nejnižší hodnoty výkonového rozložení, neboť při této vzdálenosti distribuční kužel světla tvoří velkou část měřicího rastru. Nové meze opět vyznačíme. Provedeme měření bez překážky. Následně

umístíme malou a posléze velkou překážku a provedeme jednotlivá měření. Toto měření provedeme dvakrát (v pořadí malá – velká – malá – velká překážka) pro vyšší přesnost měření.



Obrázek 19: Příklad měření na souřadnicích 2A-L až 3A-E při vzdálenosti 20 metrů

5 Návrh vzorového protokolu

Dalším cílem mé diplomové práce je navrhnout a zpracovat vzorový protokol z provedeného měření. Jak už bylo uvedeno v úvodu této práce, protokol bude obsahovat standardní strukturu. V jednotlivých podkapitolách bude uveden finální návrh dané oblasti protokolu popřípadě doporučený obsah.

5.1 Zadání

Zadání je navrženo pro měření ve skupinách 2 – 3 studentů. Pokud by vyučující stanovil měření v jedné osobě, vybral by si podle svého uvážení jednotlivé body, které očekává jako cíle zadaného měření.

Zde je návrh vzorového zadání kompletního měření:

- 1) Změřte vliv překážek na distribuci světla pomocí LED – Link WL4E1 a jeho rozložení výkonu v prostoru. Měření proveďte na vlnové délce 900 nm ve třech fázích:
 - a) bez překážky,
 - b) malá překážka,
 - c) velká překážka.
- 2) Měření proveďte v následujících vzdálenostech a na stanoveném rastru s danou přesností (jednotka rastru):
 - a) 1 metr – 2,5 x 2,5 cm,
 - b) 10 metrů – 5 x 5 cm,
 - c) 20 metrů – 5 x 5 cm.
- 3) Součástí protokolu budou následující výstupy:
 - a) série naměřených hodnot na dané vzdálenosti rastru,
 - b) vynesení naměřených hodnot do souřadnic:
 - i) 2D,
 - ii) 3D.
- 4) V závěru zhodnoťte vliv překážek ze získaných naměřených hodnot a grafů.

5.2 Teoretický úvod

Teoretický úvod by měl obsahovat informace o měřené problematice, např. informace o optických atmosférických spojích, optických pojítkách či použitých měřících přístrojích. Teoretický úvod by měl obsahovat takové informace, které povedou k lepšímu pochopení a přiblížení měřené oblasti. Podstatou je uvádět v teoretickém úvodu jen důležitá fakta a informace, aby v opačném případě tato část neinklinovala k několikastránkovému článku.

Ve vzorovém protokolu měření jsou v teoretickém úvodu uvedeny informace o optických pojítkách, aplikační použití, rychlosti přenosu, „poslední míle“ a informace o měřiči výkonu ThorLabs, pomocí kterého se realizovalo měření rozložení výkonu v prostoru.

5.3 Schéma a postup měření

Schéma a postup měření jsou identické z kapitol 4.1 a 4.2. Obojí bude uvedeno i v nevyplněné šabloně.

5.4 Použité pomůcky a přístroje

Tento bod obsahuje tabulku se všemi použitými přístroji a pomůckami, které byly použity při realizaci měření. Tabulka je rozdělena do dvou částí, kde v první části je uveden měřicí přístroj, popř. pomůcka. Uvádí se zde i všechny podstatné informace o přístroji/pomůcce (vlnová délka, velikost překážky). Do druhé části se zapisují výrobní, popř. evidenční čísla přístrojů. Tohoto lze využít pro případnou kontrolu opakovaným měřením nevyhovujících výsledků měření. Lze zde umístit i kvalitní fotografie použitých přístrojů.

Návrh tabulky použitých pomůcek a přístrojů:

Přístroj	Výrobní / evidenční číslo
LED – Link WL4E1, 850 ÷ 950 nm	WL 0120
BOSCH PLR 30	6417
THORLABS PM30	M00224023
Sonda THORLABS S 120 UV 200 – 1100nm	08100620
Rastr 80 x 50 cm	-
Malá překážka Ø4 cm	-
Velká překážka 20 x 10 cm	-
Dřevěná lať 2 m	-

Tabulka 2: Přehled použitých pomůcek a přístrojů

5.5 Výsledky měření

V kapitole výsledky měření budou umístěny tabulky naměřených hodnot a jejich grafické zobrazení jak ve dvojrozměrném, tak i trojrozměrném prostoru. Celá tato kapitola je rozdělena do tří oblastí dle vzdálenosti měření od optického vysílače.

Každá oblast se skládá z tabulek naměřených hodnot a k nim sérií grafického zobrazení 2D a 3D v tomto pořadí:

- bez překážky,
- malá překážka,
- velká překážka.

Poněvadž je měření svým počtem náročné, výstupem je celkově 11 tabulek s naměřenými hodnotami a 22 grafických zobrazení, proto jsou výsledky měření uvedeny v příloze I. Příklad grafického zobrazení lze vidět ve vyhodnocení naměřených hodnot v kapitole 6.

5.6 Vyhodnocení měření

V této, poslední, kapitole se provede vyhodnocení získaných naměřených hodnot. Provede se porovnání jednotlivých grafických zobrazení, posoudí se vlivy jednotlivých překážek na distribuci světla. Stejně porovnání se provede i na jednotlivé vzdálenosti měření.

6 Závěr

Ve své diplomové práci jsem se zabýval problematikou z oblasti optických komunikačních systémů - atmosférický optický spoj. Po teoretickém přiblížení funkce optických vysílačů a přijímačů jsem se věnoval popisu, aplikaci a problematice atmosférických optických spojů (AOS).

Podstatnou částí této diplomové práce je návrh a realizace měření rozložení optického výkonu v prostoru dle přesných parametrů. Zde jsem provedl návrh schéma měření a přesný postup měření, podle kterého mohou studenti provést měření.

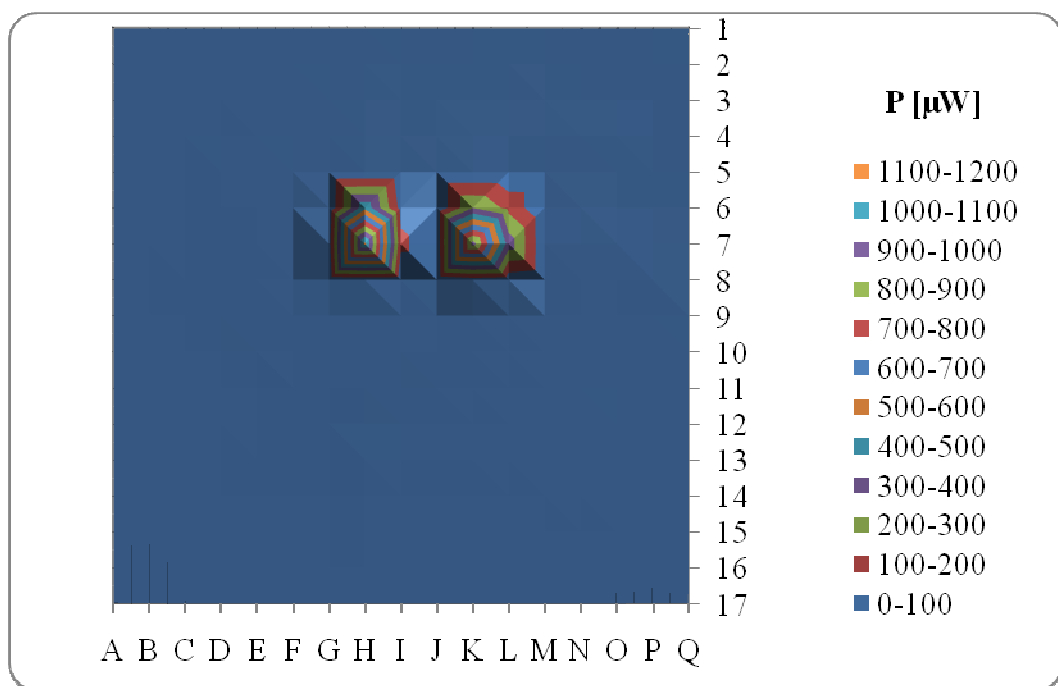
Dalším výstupem je návrh vzorového protokolu. Vzorový protokol obsahuje standardní obsah. V této kapitole jsou v bodech popsány jednotlivé části protokolu. Samotný vzorový protokol je uveden v příloze I. Pro snazší a rychlejší zpracování měřených hodnot budoucími posluchači optické laboratoře jsem vytvořil v příloze II prázdnou šablonu vzorového protokolu. Ta obsahuje předpřipravené zadání, teoretický úvod, postup měření, prázdné tabulky pro naměřené hodnoty a grafy, které se automaticky vykreslují při postupném zadávání hodnot výkonu.

Podstatnou částí této práce je po provedení stanoveného měření vyhodnotit vliv velikosti překážek a jejich vzdálenosti od zdroje optického signálu na distribuci světla.

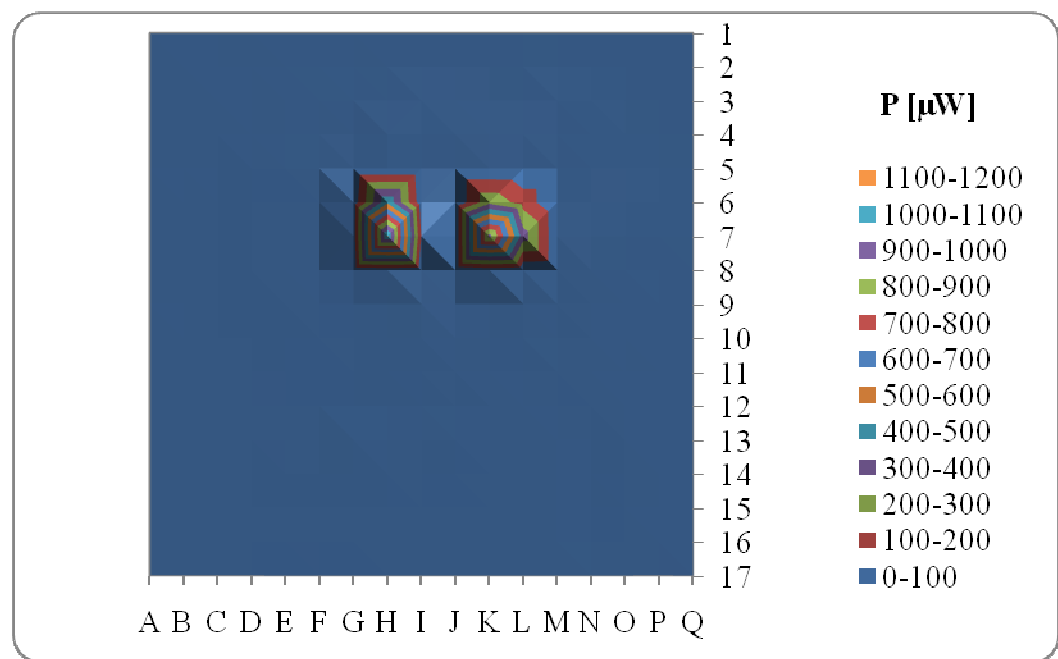
Měření vlivu překážek na distribuci světla mělo několik fází, hodnocení provedu vždy na jedné stanovené vzdálenosti, kdy budu porovnávat vliv velikosti překážky na distribuci, potažmo poklesu výkonu v prostoru.

Při měření výkonu na vzdálenost 1 metru bez překážky je z grafu 1 jasně poznat, že optický vysílač disponuje dvěma vysílacími zdroji s velmi úzkým svazkem. Jejich výhoda je popsána v teoretickém úvodu.

Při umístění malé překážky je velice důležité, v jaké pozici se přesně nachází. Z provedeného měření (graf 2) lze říci, že pokud malá překážka není umístěna přímo ve vysílaném svazku, tak vliv překážky je zanedbatelný. Pokud by ovšem byla překážka umístěna přímo v ose svazku optického zdroje, může dojít k rapidnímu poklesu výkonu a při větších přenosových vzdálenostech by mohlo dojít k výpadku spojení. Ovšem tento problém je ošetřen dvousvazkovým řešením vysílače, takže při výpadku jednoho svazku spojení bez problémů zvládne svazek druhý.

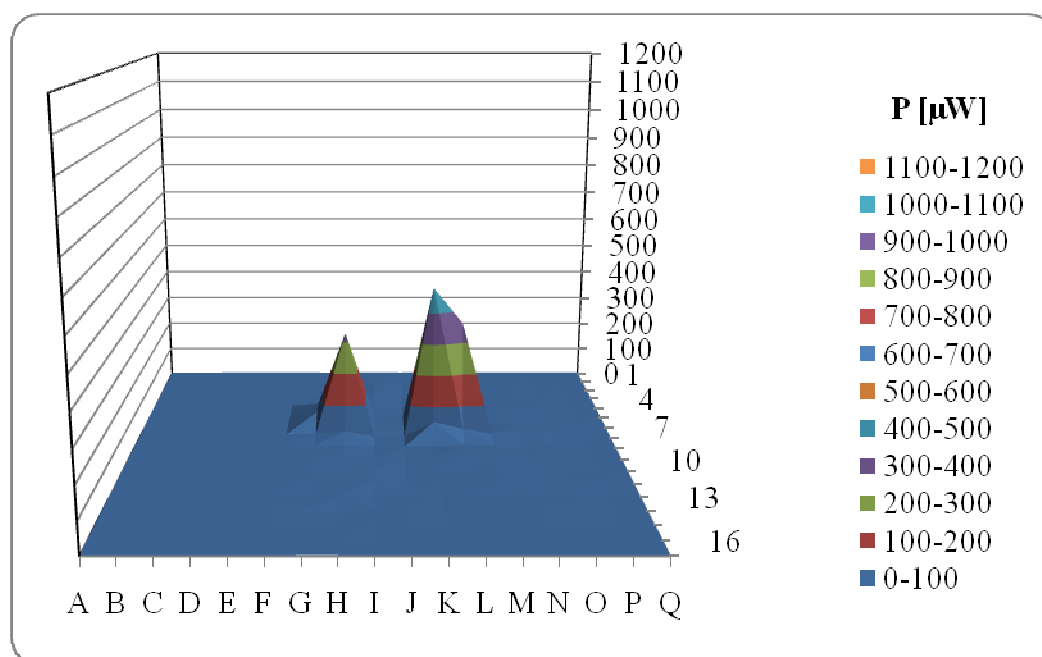


Graf 1: 2D zobrazení na vzdálenost 1 metr bez překážky



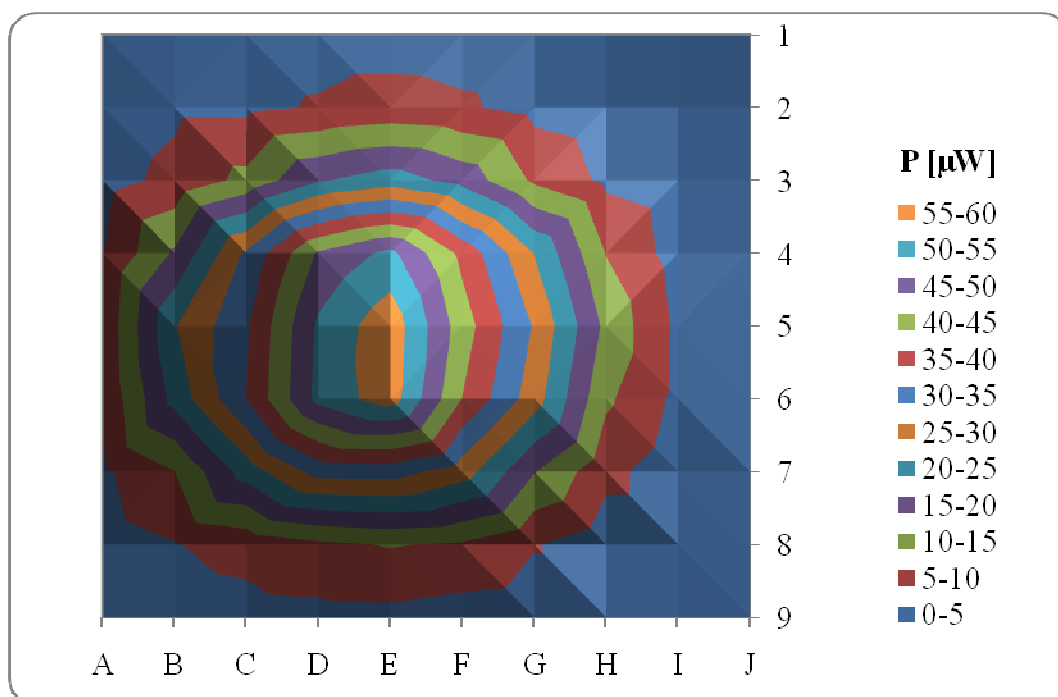
Graf 2: 2D zobrazení na vzdálenost 1 metr s malou překážkou

Pokud umístíme před optický vysílač překážku velkou, lze z grafu 3 říci, že oba vysílací svazky jsou velkou překážkou z větší části stíněny a hodnota výkonu v měřené oblasti je přibližně 3x nižší, což by při zhoršení atmosférických podmínek mohlo při stanoveném nastavení znamenat rozpad spojení.



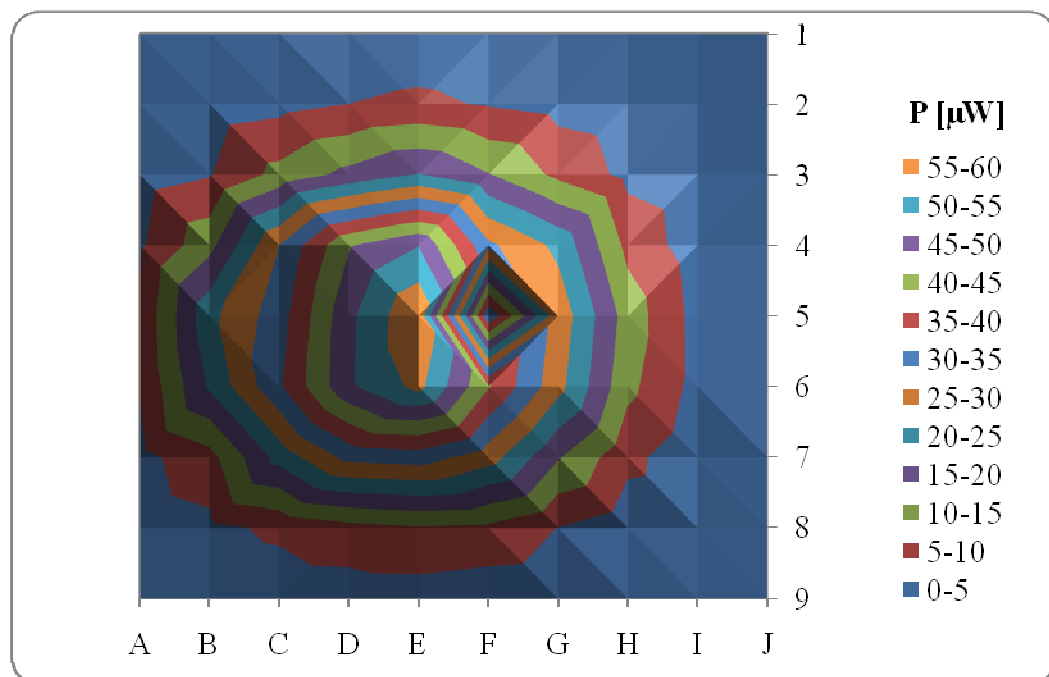
Graf 3: 3D zobrazení na vzdálenost 1 metr s velkou překážkou

Při měření výkonu na vzdálenost 10 metrů bez překážky je z grafu 4 jasně viditelné, že dva optické svazky na tuto vzdálenost přecházejí do jednoho s mnohem širším výkonovým rozložením v měřeném prostoru. Při velmi přesném měření bychom následně po vynesení do grafu mohli pozorovat, že stále existují výkonové špičky v měřené oblasti, které identifikují centrální pozici optického svazku.

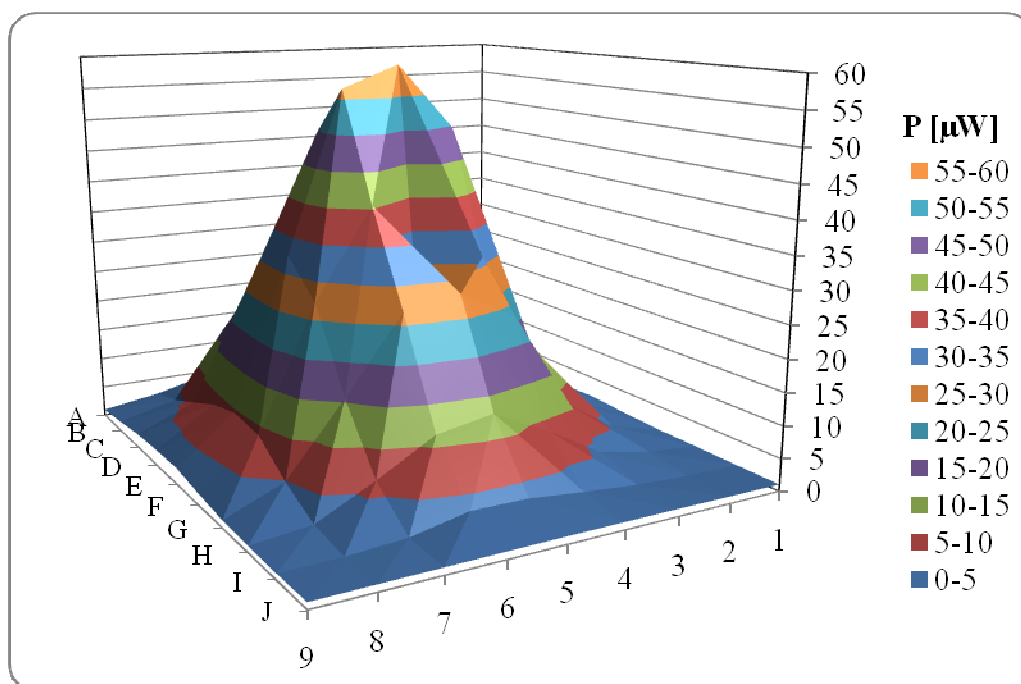


Graf 4: 2D zobrazení na vzdálenost 10 metrů bez překážky

Při umístění malé překážky (grafy 5 a 6) dochází k částečnému omezení výkonového rozložení v měřené oblasti.

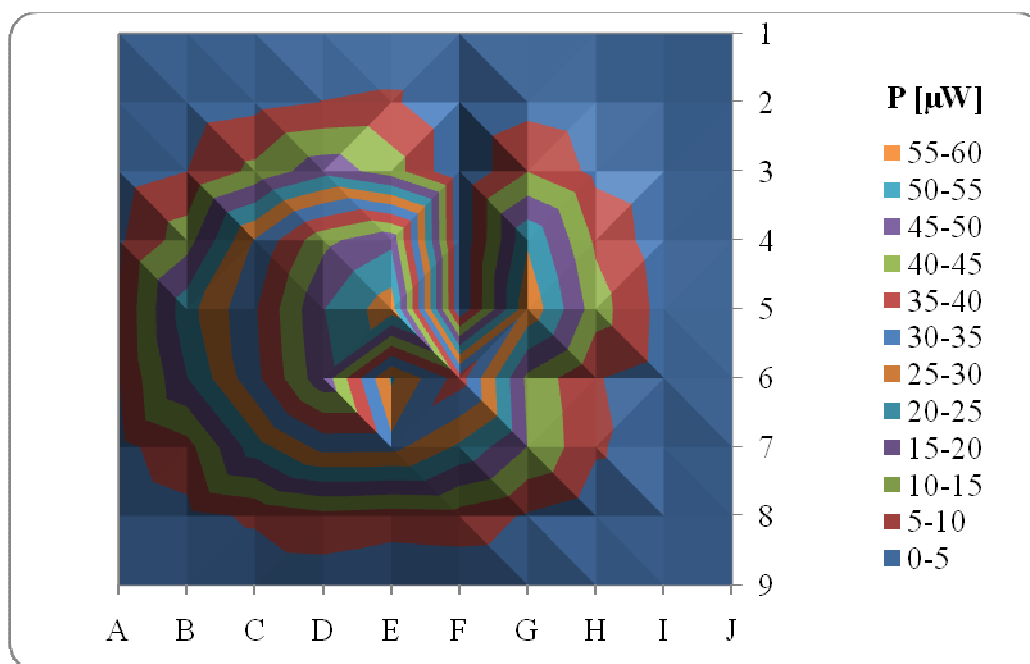


Graf 5: 2D zobrazení na vzdálenost 10 metrů s malou překážkou

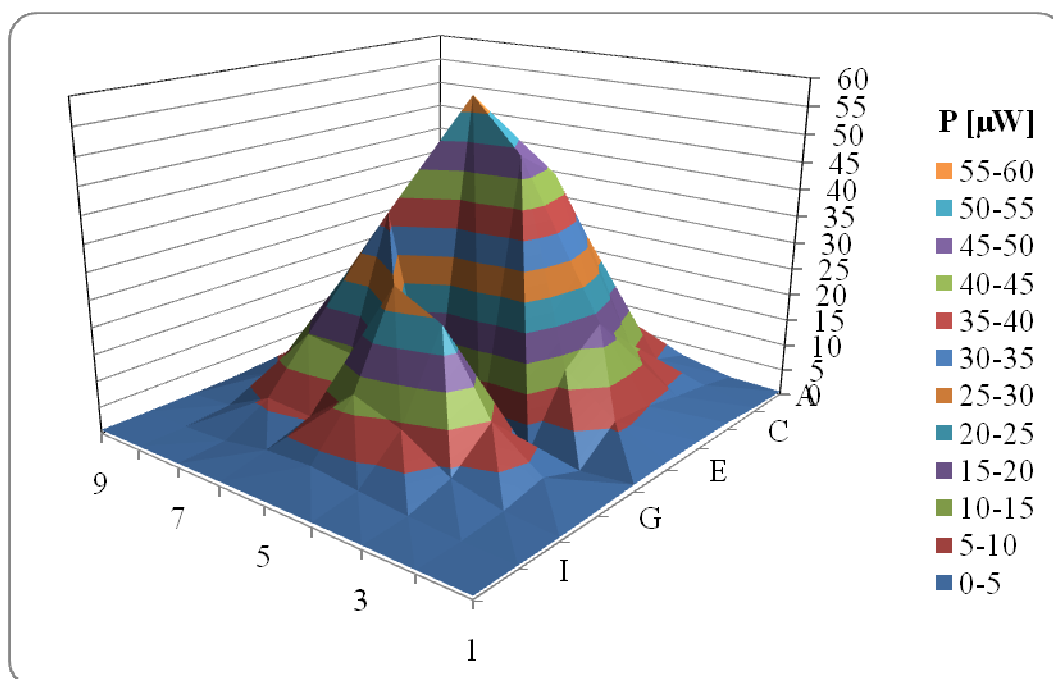


Graf 6: 3D zobrazení na vzdálenost 10 metrů s malou překážkou

Obdobně je tomu i v případě velké překážky. U velké překážky dochází k útlumu výkonu skoro až na nulové hodnoty, ale pouze v oblasti stínu velké překážky, což je patrné z grafického zobrazení (graf 7 a 8).



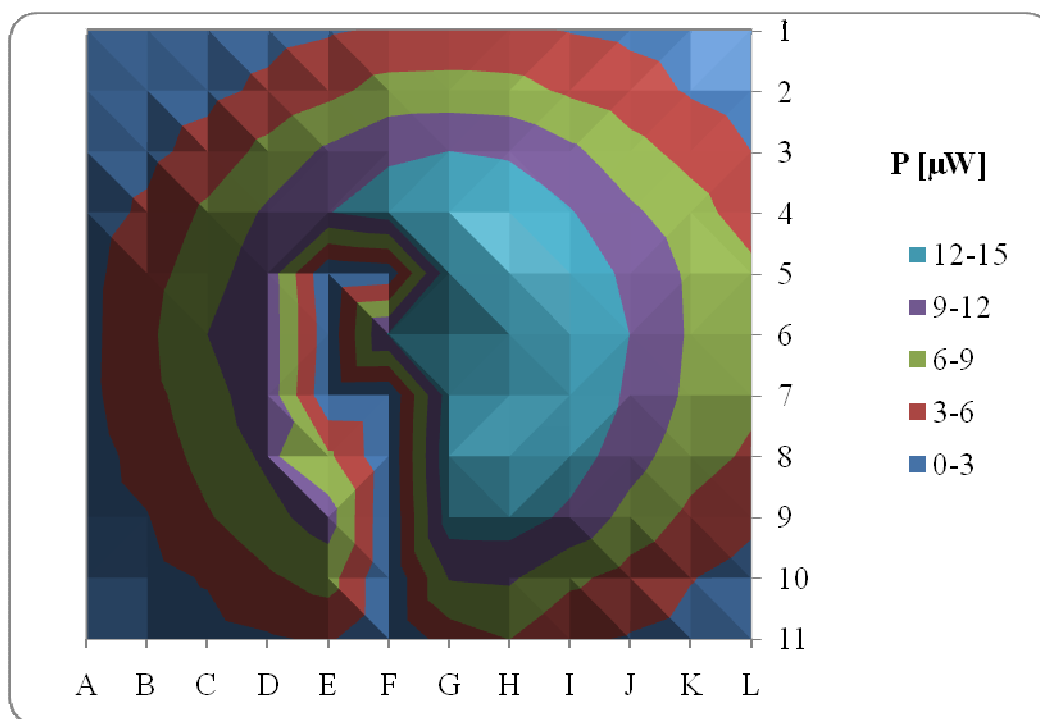
Graf 7: 2D zobrazení na vzdálenost 10 metrů s velkou překážkou



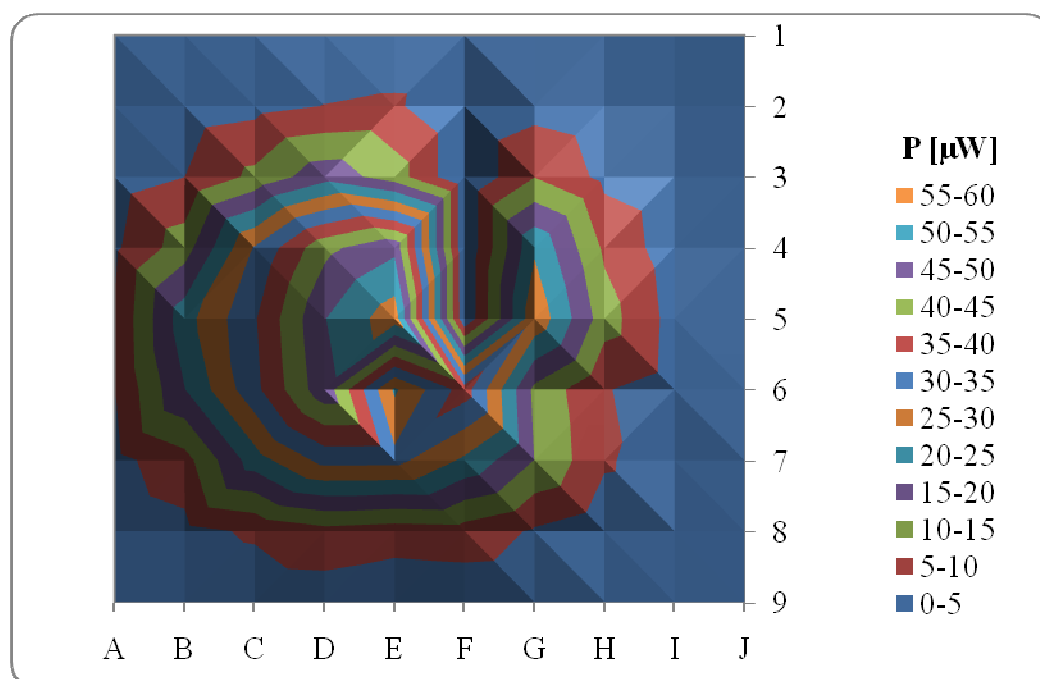
Graf 8: 3D zobrazení na vzdálenost 10 metrů s velkou překážkou

Jak u malé, tak velké překážky opět záleží na pozici překážky. Pokud bychom ji umístili přímo do trajektorie svazku, dojde k poklesu celkového výkonu optického zdroje a tím i vzdálenosti přenosu.

Při třetí sérii měření na vzdálenost 20 metrů bez překážky je graf obdobný jako při měření na vzdálenost 10 metrů, ovšem s tím rozdílem, že výkon na tuto vzdálenost je přibližně 3x nižší a rozložení výkonu v prostoru širší. Při porovnání grafů malých a velkých překážek (např. graf 9 a 10) je vliv jejich velikosti přibližně stejný jako u předchozího 10 metrového měření.

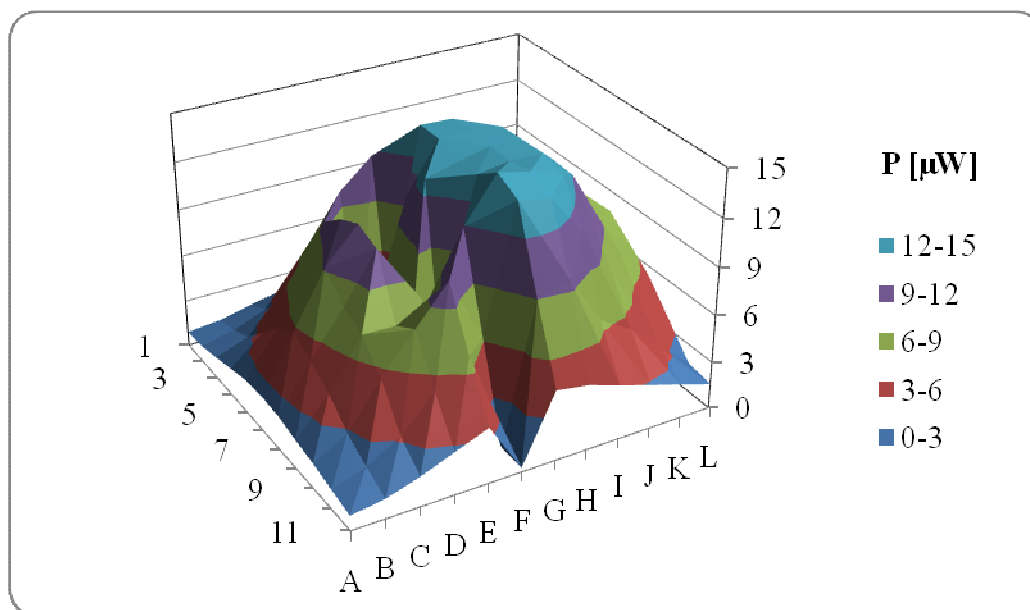


Graf 9: 2D zobrazení na vzdálenost 20 metrů s velkou překážkou – měření č. 2



Graf 10: 2D zobrazení na vzdálenost 10 metrů s velkou překážkou

I na vzdálenost 20 m při přesnějším měření můžeme detekovat výkonové špičky optických svazků. Tyto nejvyšší hodnoty výkonu jsou viditelné z grafu 11.



Graf 11: 3D zobrazení na vzdálenost 20 metrů s velkou překážkou – měření č. 1

Velkým faktorem, který dokázal podstatně ovlivnit měření, bylo denní světlo, které měnilo svoji intenzitu dle počasí. Proto musí být provedeno pro denní měření kvalitní zatemnění nebo realizovat měření ve večerních hodinách (optimální je zimní období).

Po shrnutí lze říci, že největším problémem u atmosférických optických spojů jsou překážky v bezprostřední blízkosti optického vysílače. Z tohoto důvodu se vyrábějí optické vysílače vícesvazkové k minimalizaci této problematiky. Pokud by ovšem tyto problémy vznikaly často, bylo by na místě provést změnu v daném optickém systému.

Pro názornější ukázkou vlivu překážek na distribuci optického signálu bych dále doporučil pro další možné měření překážku svojí velikostí ekvivalentní ke zdroji optického signálu. Pak následně hodnotit vliv na výkon optického signálu.

Činnost v oblasti atmosférických optických spojů se rozvíjí vysokým tempem a stále častěji se stávají hlavním prvkem komunikačních systémů. Jsou vyhledávány pro svoji bezpečnost a vysokou rychlost. Stále ovšem existují slabé stránky atmosférických optických spojů, ale ty jsou dnes velmi úspěšně řešeny pomocí detekčních a samoopravných kódů. Pomocí techniky ARQ jsou řešeny náhodné přerušení optického svazku. Myslím si, že tato technologie má velmi široké uplatnění v telekomunikační technice.

Literatura

- [1] HRADIL, Z. *Vláknová optika na telekomunikačních vlnových délkách* [online]. Olomouc, 2008. 71 s. Oborová práce. Palackého univerzita, Přírodovědecká fakulta, Katedra optiky. Dostupné z WWW: <http://muj.optol.cz/download/projects/frvs2008_Hradil_skriptum.pdf>.
- [2] MATAL, Jan. *Realizace dvoukanálového optického vysílače s řízeným zpožděním*. Ostrava, 2009. 49 s. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita, FEI, Katedra telekomunikační techniky.
- [3] WILFERT, Otakar; KOLKA, Zdeněk. *OPTICKÉ (LASEROVÉ) BEZDRÁTOVÉ SPOJE*. 2007 [cit. 2010-04-20]. Dostupné z WWW: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/web_pages/projekty/clanky/Wilfert_Kolka_opticke_spoje.pdf>.
- [4] URBAN, František. *Laserové bezdrátové spoje. System On Line* [online]. 2001, 5, [cit. 2010-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.systemonline.cz/clanky/laserove-bezdratove-spoje.htm>>.
- [5] MOKRÝ, Jan. *FWA – optika vzduchem. System On Line* [online]. 2002, 5, [cit. 2010-04-20]. Dostupný z WWW: <[http:// http://www.systemonline.cz/clanky/fwa-optika-vzduchem.htm](http://http://www.systemonline.cz/clanky/fwa-optika-vzduchem.htm)>.
- [6] *CLB Communication by light s.r.o : Optický bezdrátový spoj* [online]. 2010 [cit. 2010-04-20]. CLB. Dostupné z WWW: <<http://www.cbl.cz/opticke-bezdratove-spoje-laser-link-155.php>>.
- [7] SVOBODA, Jaroslav, et al. *Telekomunikační technika, Díl 1. : Zprávy, signály, přenosová prostředí*. Praha : [s.n.], 2000. Přenosové cesty, s. 137.
- [8] *Kaiser Data - Divize bezdrátových komunikací* [online]. 2010 [cit. 2010-04-21]. Kaiser Data. Dostupné z WWW: <<http://www.bezdratove-telekomunikace.cz>>.

Seznam příloh

Příloha I

Protokol o měření – vzorový

Příloha II

Prázdná šablona protokolu o měření (elektronická forma)

Příloha I

	VŠB-TU Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky Laboratoř přenosových médií	
PROTOKOL O MĚŘENÍ - VZOROVÝ		
Název úlohy:	Vliv překážek na přenos optického atmosférického spoje	
Zpracoval:	Bc. Jan PEICHL	Nick: PEI009
Studijní skupina:	Kombinované studium	
Katedra:	Telekomunikační technika	
Datum měření:	5. března 2010	Počet listů: 46
Hodnocení:		

Zadání

- 1) Změřte vliv překážek na distribuci světla pomocí LED – Link WL4E1 a jeho rozložení výkonu v prostoru. Měření proveďte na vlnové délce 900 nm ve třech fázích:
 - a) bez překážky,
 - b) malá překážka,
 - c) velká překážka.
- 2) Měření proveďte v následujících vzdálenostech a na stanoveném rastru s danou přesností (jednotka rastru):
 - a) 1 metr – 2,5 x 2,5 cm,
 - b) 10 metrů – 5 x 5 cm,
 - c) 20 metrů – 5 x 5 cm.
- 3) Součástí protokolu budou následující výstupy:
 - c) série naměřených hodnot na dané vzdálenosti rastru,
 - d) vynesení naměřených hodnot do souřadnic:
 - i) 2D,
 - ii) 3D.
- 4) V závěru zhodnoťte vliv překážek ze získaných naměřených hodnot a grafů.

Teoretický úvod

Optická pojítka

Potřeba rychlé výstavby komunikačních sítí v obtížných terénech či městských zástavbách vede k nasazení bezdrátových přenosových technologií. Aplikační použití infračervených popř. laserových optických pojítek spadá od tvorby páteřních spojů s rychlostí přenosu až 1000Mb.s^{-1} popř. 155Mb.s^{-1} v rámci Ethernet či SDH sítí, přes konektivitu v rámci 10/100M Ethernet LAN sítí až po 2/34Mb.s⁻¹ E1/E3 kanály pro telekomunikační spoje nebo širokopásmové přístupové WAN sítě. Rovněž je velmi vhodným prostředkem pro řešení konektivity „poslední míle“ (poslední míle se v telekomunikační technice nazývá propojení mezi koncovým bodem telefonní sítě a účastníkem, koncovým bodem zpravidla bývá místní ústředna nebo jiné sdružovací zařízení). Unikátnost laserových pojítek spočívá v použití víceprvkového vysílacího zdroje, který zajišťuje funkčnost i po případném výpadku jedné z vysílacích diod.

Dosah jednotlivých typů laserových pojítek se různí a závisí na:

- typu zařízení, které se liší počtem a typem vysílačů, divergencí vyzařovacího svazku (směrností), typem a citlivostí přijímačů atd.,
- povaze počasí, které má vliv na šíření světla vzduchem [1].



Obrázek 1: Příklady optických pojítek

Měřič výkonu

Wattmetr PM 30 od výrobce ThorLabs je snadno použitelný měřicí systém pro měření optického výkonu s optickou sondou. Tento přístroj má dvojici displejů, na kterých lze odečítat naměřené hodnoty. Jedním z nich je analogová stupnice, která svou dobrou čitelností a schopností reagovat v reálném čase umožňuje rychlé ladění optického paprsku. Druhým, doplňkovým, je 12 ti místný digitální displej, který dovoluje odečítat přesné hodnoty výkonu a tím umožňuje vysoký stupeň přesnosti měření. Přístroj je možno napájet buď z NiMH baterií nebo pomocí síťového adaptéru, ze kterého lze také dobíjet NiMH baterie.

Tento měřicí přístroj je dodáván s jednou ze sond dle požadavků uživatele, např.:

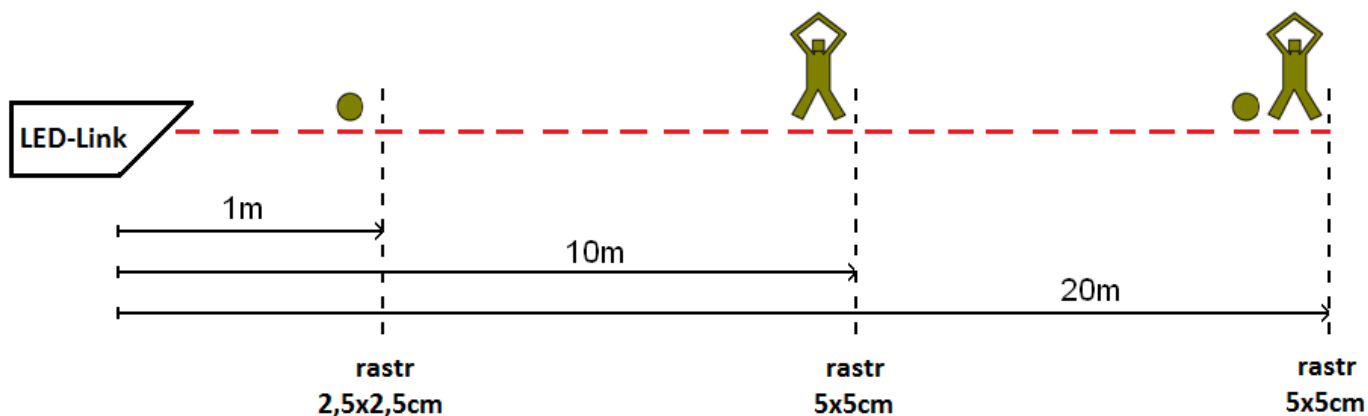
- silikonová sonda S120B pro měření výkonu v rozsahu 50 nW – 50 mW při vlnových délkách 400 – 1100 nm,
- germaniová sonda S122B pro měření výkonu v rozsahu 35 nW - 35 mW při vlnových délkách 700 – 1800 nm,
- úzká silikonová sonda S130A s dvojitým rozsahem pro měření výkonu v rozsahu 5 nW – 500 mW při vlnových délkách 400 – 1100 nm,
- integrovaná silikonová kulová sonda S140A pro měření výkonu v rozsahu 1 μ W – 1 W při vlnových délkách 400 – 1100 nm,
- a další.

Přístroj je možno také dálkově ovládat pomocí počítače přes rozhraní DB9 RS 232 s přenosovou rychlostí 9600 b.s⁻¹ [2].



Obrázek 2: Wattmetr ThorLabs PM30 + S 120 UV

Schéma měření



Obrázek 3: Schéma měření

Postup měření

Měření bylo rozděleno do několika fází:

- fáze první – příprava měřicího pracoviště,
- fáze druhá – příprava a nastavení přístrojů,
- fáze třetí – měření výkonu na vzdálenost 1 metr,
- fáze čtvrtá – měření výkonu na vzdálenost 10 metrů,
- fáze pátá – měření výkonu na vzdálenost 20 metrů.

a) Příprava měřicího pracoviště

Zprovoznění zařízení LED – Link, tedy připojení ke zdroji napájení, nastavení vysílače do provozního módu.

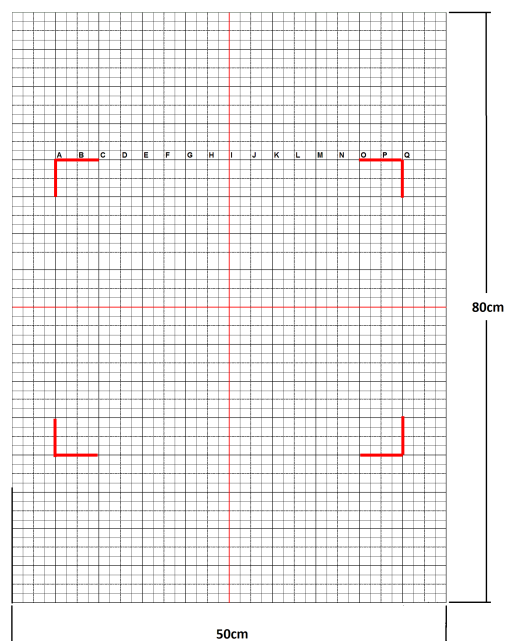


Obrázek 4: LED – Link WL4E1



Obrázek 5: Provozní mód

Dále připravíme rastr, pomocí kterého změříme rozložení výkonu v prostoru. Použijeme rastr o velikosti minimálně 80 x 50 cm s jednotkou rastru 5 mm.



Obrázek 6: Měřicí rastr

Pro umístění rastru do správné výšky tak, aby protnul osu optického vysílače, je použit méně využívaný stojan RACK 19'' jednoduchý s pohyblivou políčkou TOOLLESS.



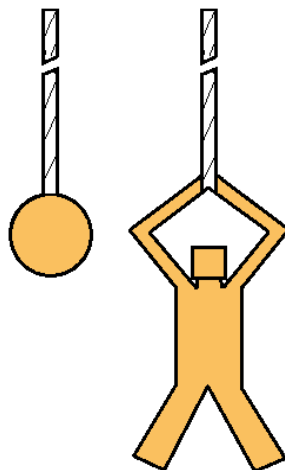
Obrázek 7: RACK 19'' jednoduchý



Obrázek 8: Polička TOOLLESS

Příprava překážek pro měření

Použijeme překážky ve dvou provedeních – malá překážka v podobě míčku na stolní tenis zavěšený na 70 cm niti a velká překážka v podobě figury člověka taktéž zavěšena na niti (obrázek 9). K usnadnění zavěšení překážek před rastr použijeme 2 m dlouhou lať.



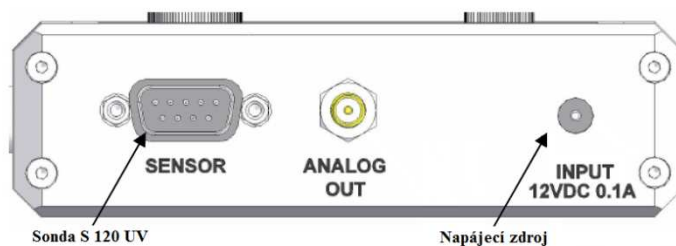
Obrázek 9: Malá a velká překážka

Velice důležitým krokem v přípravách k měření je provedení maximálního zatemnění prostoru od vnějšího světla, které může silně ovlivňovat přesnost měření.

b) Příprava a nastavení přístrojů

Ve druhé fázi proběhlo zprovoznění a nastavení wattmetru ThorLabs PM30 a to následujícím postupem:

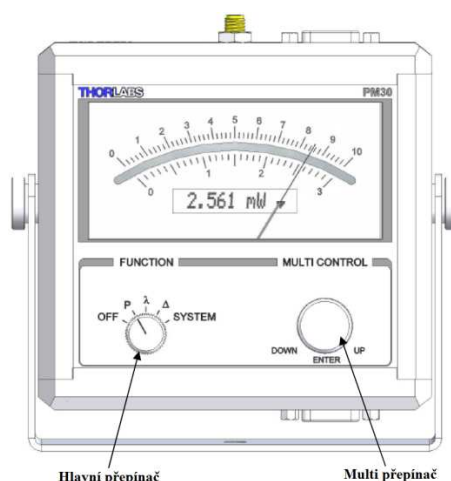
- ve vypnutém stavu připojíme k wattmetru sondu S 120 UV,
- k wattmetru připojíme napájecí zdroj, který následně připojíme do elektrické sítě,



Obrázek 10: Horní strana PM30

- hlavní přepínač v oblasti Function přepneme do polohy λ (obrázek 11),
- zde nastavíme požadovanou vlnovou délku 900 nm, na které budeme realizovat daná měření připojenou sondou,

- pro nastavení vlnové délky postupujeme takto:
 - zatlačením multi přepínače (ENTER) aktivujeme číselnou pozici (tisíce, stovky, desítky, jednotky),
 - s každým dalším stlačením se přepínáme mezi číselnými řády,
 - následně v daném řádu měníme hodnotu cifry otáčením přepínače do krajních pozic (DOWN, UP),
 - zadávání či změnu ukončíme přepínáním mezi řády tak dlouho, dokud řád nepřestane blikat.
- po provedení nastavení vlnové délky pro připojenou sondu přepneme hlavní přepínač do polohy *P* a otočným přepínačem směrem vpravo (UP) nastavíme nejvyšší rozsah pro první měření,
- přístroj je připraven k měření.

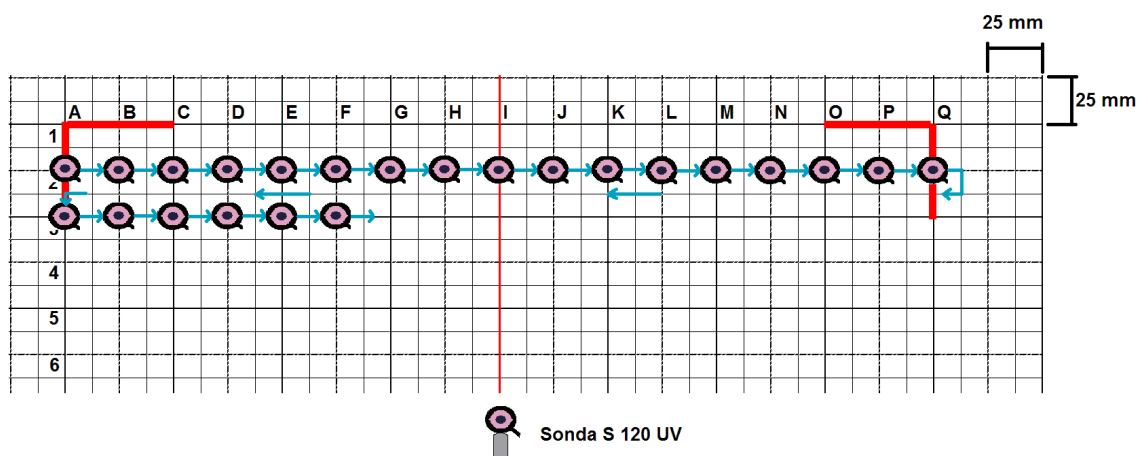


Obrázek 11: Čelní panel PM30

c) Měření výkonu na vzdálenost 1 metr

Stojan RACK postavíme do přibližné vzdálenosti 1 metr od optického vysílače LED – Link. Na polici Toolless položíme rastr kratší stranou. Následně pomocí měření wattmetru a posouváním police ve svislých směrech umístíme rastr do takové polohy, aby výkon optického vysílače směřoval do středu měřicího rastru. Následně rastr připevníme ke stojanu např. upínacím gumovým popruhem a pomocí laserového měřiče BOSCH PLR 30 nastavíme rastr přesně 1 metr od optického vysílače. Wattmetrem zjistíme nejnižší hodnoty výkonu v souřadnicích rastru. Tuto oblast si vyznačíme v rozích tužkou, aby tyto meze mohly být pro další měření vymazány.

Dle zadání provedeme všechna měření s přesností 2,5 x 2,5 cm a první měření bez překážky. Měření provádíme tak, že sondu vždy postupně přikládáme na stanovené po sobě jdoucí souřadnice, které jsou od sebe vzdáleny na každou stranu 2,5 cm.



Obrázek 12: Příklad měření na souřadnicích 2A-Q až 3A-F při vzdálenosti 1 metr

Odečtené hodnoty na jednotlivých souřadnicích zapisujeme do předem připravené tabulky (tabulka 1). Naměřené hodnoty budou uváděny s přesností na 2 desetinná místa. Součástí všech tabulek bude označení, o jaké se jedná měření (bez překážky, atd.), jednotku výkonu, vzdálenost překážky od měřícího rastru a výkon denního světla v průběhu daného měření.

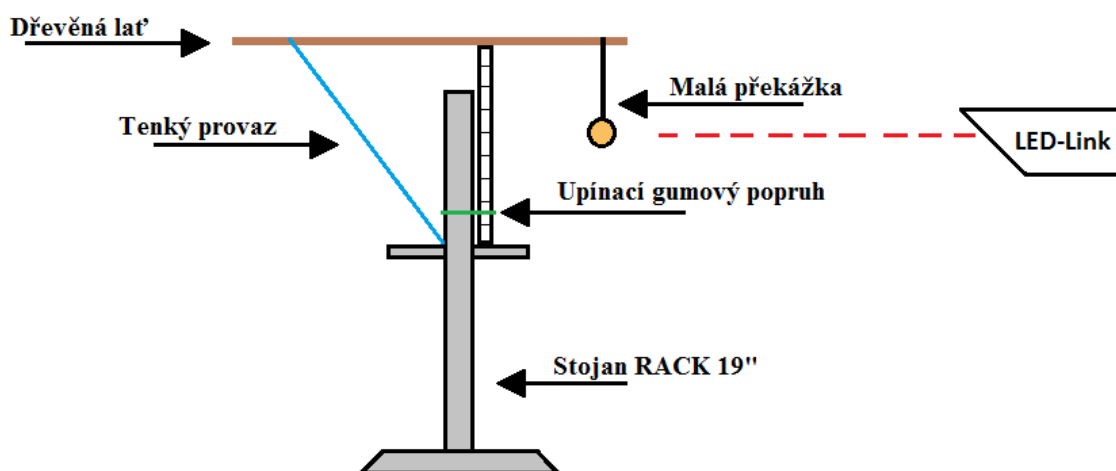
Bez překážky **P [μ W]** **okolní prostředí [μ W]** **vzdálenost překážky - [cm, m]**

-	A	B	C	D
1								
2								
3								
...								
...								
...								
...								

Tabulka 1: Vzorová tabulka pro naměřené hodnoty

Měření s malou a velkou překážkou

Po provedení měření s překážkami využijeme dřevěnou lať, kterou položíme na rastr tak, aby jeden konec latě byl umístěn před rastrem a druhý pomocí provazu přitažen ke stojanu (obrázek 13). Před rastr na lať zavěšíme malou (velkou) překážku do takové výšky, aby zasahovala přibližně střed měřené oblasti (obrázek 14). Poté provedeme měření stejným způsobem, jako bylo provedeno na vzdálenost 1 metru. Před každým měřením odečteme výkon světla okolního prostředí.



Obrázek 13: Upevnění překážky

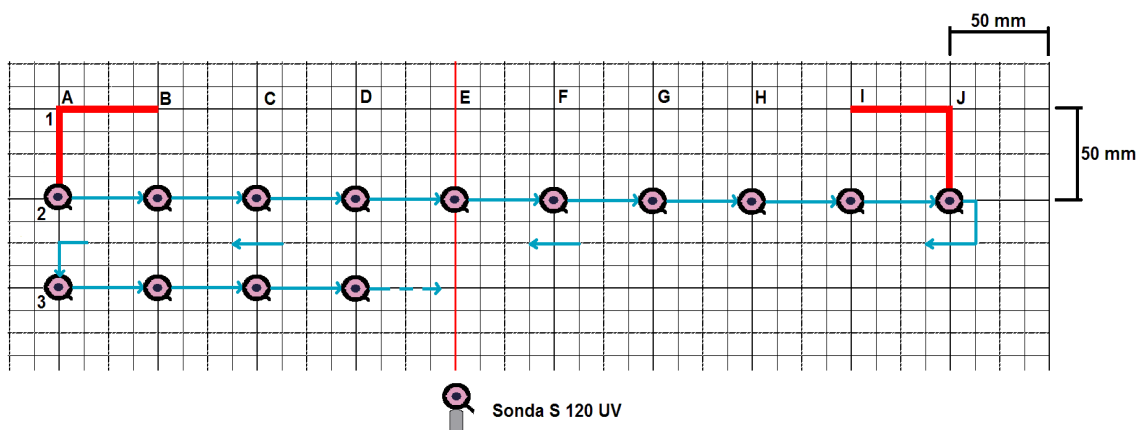


Obrázek 14: Umístění malé překážky

d) Měření výkonu na vzdálenost na 10 metrů

Stojan s rastrem umístíme do přibližné vzdálenosti 10 metrů od optického vysílače a pomocí laserového měřiče BOSCH PLR 30 dostavíme rastr přesně na stanovenou vzdálenost. Opětovně pomocí měření wattmetru a posunováním police umístíme rastr tak, aby výkon optického vysílače směřoval do středu rastru. Provedeme wattmetrem měření výkonu okolního prostředí a nejnižší hodnoty výkonu v souřadnicích rastru. Nové meze měřené oblasti vyznačíme do rastru (původní se vymažou, aby nedocházelo ke zbytečným měřením a nejasnostem).

Měření zahájíme bez překážky a provedeme všechna měření stejná jako u měření na 1 metr, ale s přesností 5 x 5 cm.

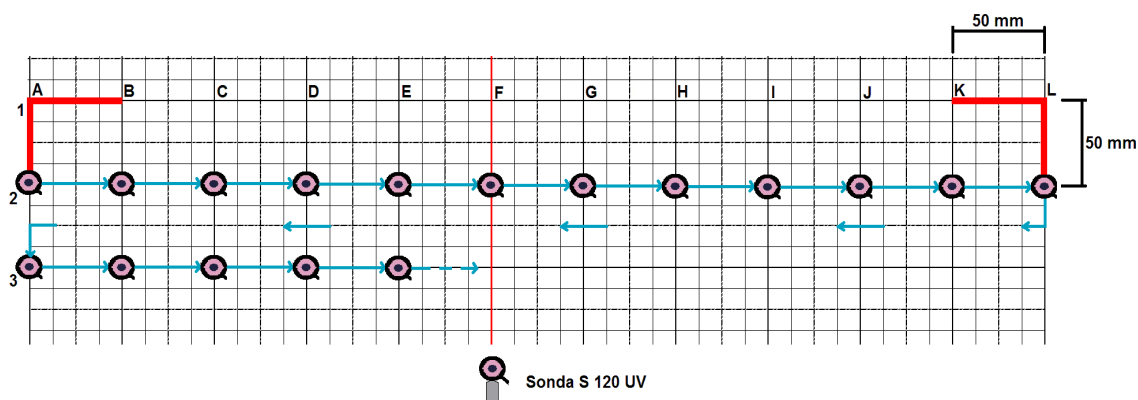


Obrázek 15: Příklad měření na souřadnicích 2A-J až 3A-D při vzdálenosti 10 metrů

Měření na malé a velké překážce provádíme obdobně jako u měření na 1 metr. U každého měření musí být provedeno měření výkonu denního světla a pomocí laserového měřiče vzdálenost překážek od optického vysílače. Tyto hodnoty následně mohou sloužit pro porovnání s výsledky jiných měření na dané vzdálenosti a překážce.

e) Měření výkonu na vzdálenost 20 metrů

Obdobným způsobem jako měření na 10 metrů, provedeme měření na 20 metrů. Přesnost měření zůstává obdobně jako měření na 10 metrů, tedy 5 x 5 cm. Velice důležité je změřit nejnižší hodnoty výkonového rozložení, neboť při této vzdálenosti distribuční kužel světla tvoří velkou část měřícího rastru. Nové meze opět vyznačíme. Provedeme měření bez překážky. Následně umístíme malou a posléze velkou překážku a provedeme jednotlivá měření. Toto měření provedeme dvakrát (v pořadí malá – velká – malá – velká překážka) pro vyšší přesnost měření.



Obrázek 16: Příklad měření na souřadnicích 2A-L až 3A-E při vzdálenosti 20 metrů

Použité pomůcky a přístroje

Přístroj	Výrobní / evidenční číslo
LED – Link WL4E1, 850 ÷ 950 nm	WL 0120
BOSCH PLR 30	6417
THORLABS PM30	M00224023
Sonda THORLABS S 120 UV 200 – 1100nm	08100620
Rastr 80 x 50 cm	-
Malá překážka Ø4 cm	-
Velká překážka 20 x 10 cm	-
Dřevěná lať 2 m	-

Tabulka 2: Přehled použitých pomůcek a přístrojů

Výsledky měření

Výstupy z měření obsahují série hodnot na jednotlivých překážkách při stanovených vzdálenostech. Výsledky měření jsou rozděleny do tří oblastí – tabulky se získanými hodnotami a grafické zobrazení těchto hodnot ve dvojrozměrném a třírozměrném prostoru. Pro lepší porovnání jsou seskupeny grafy 2D a 3D.

a) Měření na vzdálenost 1 metr

Bez překážky [μW]

Okolní prostředí - 2.21 μW

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	3,40	3,50	3,80	4,20	4,40	4,30	4,70	5,00	4,60	4,70	4,90	4,70	4,50	4,30	4,40	4,20	3,60
2	3,40	3,50	3,90	4,00	4,40	5,00	5,10	5,90	5,70	5,90	6,10	5,80	5,20	5,20	5,00	4,80	4,10
3	3,80	3,60	3,70	4,10	5,10	5,90	6,70	7,60	7,80	8,20	7,70	7,10	7,30	6,00	4,70	4,20	4,10
4	3,90	4,00	4,20	4,60	6,60	6,70	8,30	10,50	10,20	10,60	10,70	10,00	9,10	8,50	7,30	5,20	4,70
5	3,90	4,10	4,50	6,30	6,90	8,00	10,20	14,30	13,10	13,80	14,90	10,90	9,40	8,20	7,30	5,50	4,40
6	3,90	4,30	4,90	6,90	8,40	8,59	19,20	472,00	66,00	17,00	297,00	171,00	10,00	11,10	7,50	5,80	4,60
7	4,00	4,20	4,80	7,10	8,70	9,30	54,20	1126,00	125,00	18,00	942,50	354,00	14,30	12,00	10,50	7,10	4,70
8	3,90	4,40	5,90	7,20	8,20	8,90	14,90	26,40	16,90	13,70	54,90	36,30	11,30	10,70	9,40	8,30	4,70
9	3,80	4,40	4,90	6,25	7,65	8,61	9,53	11,10	12,80	12,10	13,20	11,10	9,30	8,50	6,80	5,90	4,60
10	3,70	4,30	4,70	5,30	7,40	7,50	8,90	11,00	12,30	11,20	10,10	9,00	8,60	7,80	6,10	5,40	4,50
11	3,50	4,21	4,62	4,96	5,30	6,80	8,40	9,60	9,00	8,60	7,90	7,60	7,50	6,80	5,40	5,00	4,50
12	3,30	3,90	4,30	4,70	5,10	5,80	6,30	6,60	6,60	6,60	6,90	7,00	6,80	5,90	5,33	4,90	4,30
13	3,00	3,30	3,70	4,10	4,70	5,20	5,60	8,10	7,00	7,20	7,80	6,60	5,80	5,32	5,12	4,31	3,90
14	2,70	3,10	3,20	3,44	3,81	4,21	4,89	5,34	5,13	5,40	5,36	5,14	4,83	4,60	4,20	3,94	3,40
15	2,80	2,91	3,27	3,42	3,65	4,10	4,20	4,40	4,40	4,40	4,35	4,32	3,61	3,49	3,40	3,20	3,10
16	2,50	2,60	2,80	3,00	3,20	3,20	3,30	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,30	3,10	3,00	2,90	2,70
17	2,40	2,60	2,70	2,70	2,80	2,90	3,10	3,20	3,40	3,40	3,40	3,20	2,90	2,90	2,70	2,50	2,50

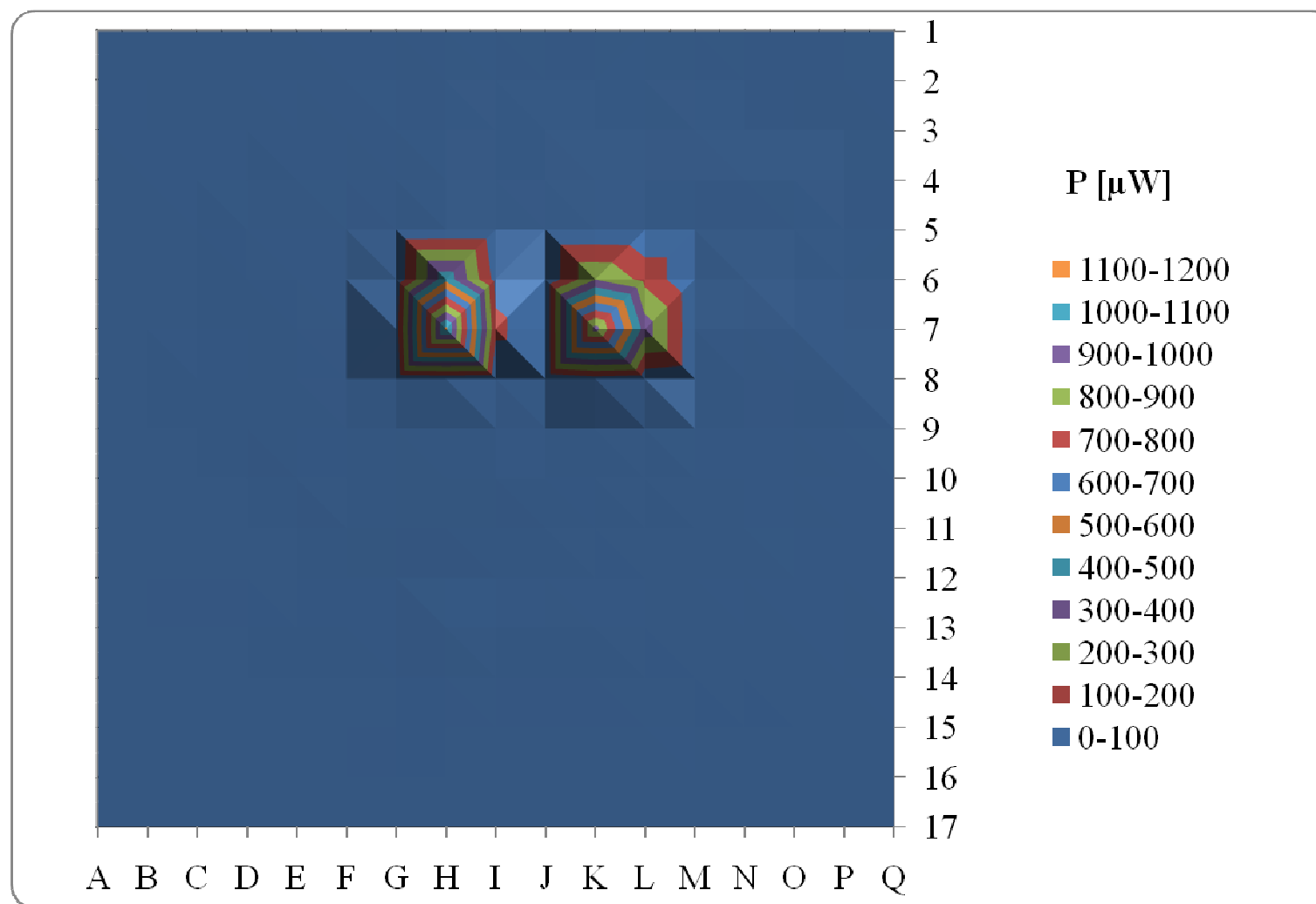
Tabulka 3: Měření na vzdálenost 1 metr bez překážky

Malá překážka		[μW]		Okolní prostředí - 2.12 μW								Vzdálenost překážky - 46 cm					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	3,30	3,30	3,60	3,80	3,90	4,20	4,30	4,80	4,50	4,60	4,50	4,60	4,30	4,10	4,20	4,00	3,40
2	3,40	3,80	3,80	4,00	4,50	4,90	4,80	5,60	5,30	5,70	5,60	5,70	4,70	4,80	4,40	4,40	3,90
3	3,60	4,00	4,20	4,50	5,80	6,60	6,60	7,80	9,10	8,40	7,30	7,20	7,50	6,40	4,90	4,40	4,20
4	3,80	4,10	4,40	5,10	6,80	7,10	7,60	12,90	11,80	12,70	12,20	11,10	7,90	7,10	6,00	5,00	4,30
5	4,00	4,10	4,50	6,70	8,80	9,00	10,90	14,20	12,90	13,40	14,50	10,40	8,50	8,10	7,00	5,70	4,40
6	4,20	4,50	5,10	7,30	8,00	8,70	39,30	481,00	36,40	16,80	273,00	158,00	10,20	9,80	8,10	6,40	4,70
7	4,30	4,50	5,20	7,40	8,00	8,20	53,20	1106,00	97,00	17,10	936,20	347,00	14,20	10,60	8,40	6,60	4,80
8	4,10	4,40	4,90	7,30	7,90	7,50	13,30	26,90	14,20	9,80	43,10	21,30	11,40	10,10	7,80	5,70	4,70
9	4,00	4,10	4,70	6,60	7,50	7,40	8,60	10,90	13,40	9,60	9,20	11,20	8,60	8,30	6,80	5,60	4,60
10	3,90	4,40	4,62	5,00	6,40	7,30	8,10	10,10	11,20	9,50	8,60	8,90	7,30	8,00	6,40	5,60	4,60
11	3,70	4,20	4,45	4,80	5,90	6,90	7,90	9,30	8,80	8,20	7,50	6,70	7,20	6,60	5,80	5,50	4,70
12	3,50	3,90	4,30	4,70	5,60	6,40	6,80	6,90	6,80	6,70	6,90	6,60	5,80	5,80	5,70	5,40	4,30
13	3,30	3,80	4,10	4,70	5,60	6,10	9,00	7,40	7,30	7,90	6,60	6,10	5,70	4,30	5,60	4,80	3,90
14	3,10	3,40	3,60	4,00	5,30	5,70	6,10	6,30	6,00	6,20	5,90	5,50	5,20	3,60	4,60	4,20	3,50
15	2,90	3,10	3,20	3,40	4,10	4,50	4,70	4,80	4,80	4,70	4,70	4,60	4,30	2,90	4,10	3,80	3,20
16	2,80	3,00	3,10	3,20	4,00	4,10	4,30	4,20	4,30	4,20	4,10	4,00	3,80	2,60	3,70	3,60	3,00
17	2,40	2,40	2,50	2,60	2,80	3,00	3,20	3,50	3,60	3,40	3,30	3,50	3,30	3,10	2,70	2,60	2,80

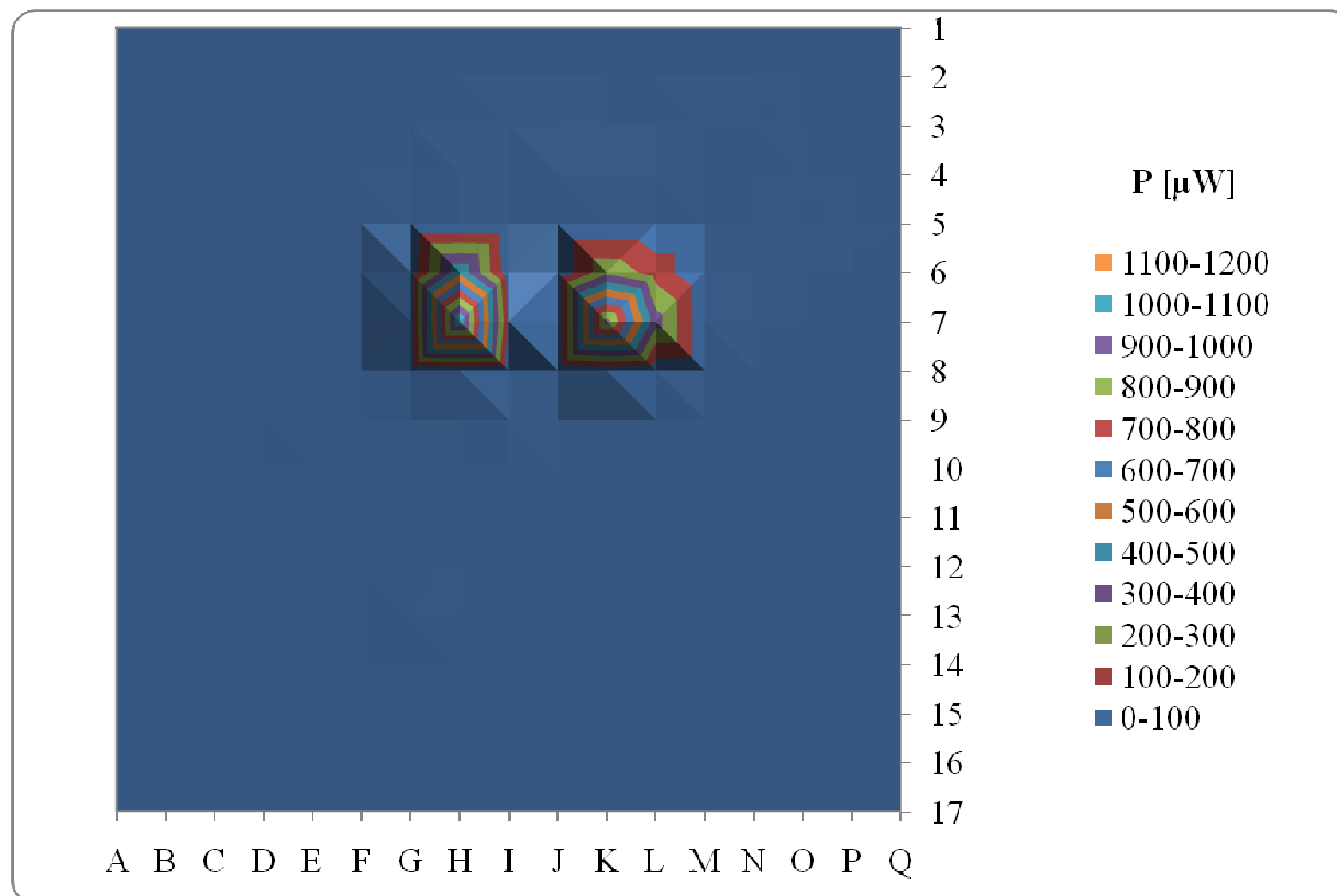
Tabulka 4: Měření na vzdálenost 1 metr s malou překážkou

Velká překážka				[μW]				Okolní prostředí - 2.4 μW				Vzdálenost překážky - 46 cm					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	3,92	4,39	4,74	4,99	5,14	4,91	4,69	4,69	5,86	4,61	5,80	4,91	5,67	5,51	5,57	5,42	4,79
2	4,28	4,65	4,85	5,05	5,63	5,01	5,43	4,81	6,70	4,99	6,78	5,94	6,47	6,18	5,83	5,75	5,57
3	4,44	4,76	4,98	5,51	6,66	6,44	7,19	5,52	10,36	6,25	8,13	6,97	8,67	7,50	6,15	5,69	5,75
4	4,75	4,89	5,19	6,06	7,88	6,96	7,95	6,79	11,07	7,45	9,94	8,94	9,75	8,58	7,11	6,03	5,67
5	4,83	5,00	5,56	8,01	8,19	8,12	10,73	4,07	6,78	3,81	13,33	10,00	10,60	9,70	8,85	6,56	5,83
6	4,88	5,18	5,51	7,91	8,65	8,17	49,20	4,20	3,50	3,30	27,60	163,00	11,70	10,56	8,87	6,54	6,00
7	4,95	5,32	5,73	8,02	8,84	9,93	54,30	328,00	3,43	3,49	482,00	362,00	8,65	10,72	8,96	7,21	6,05
8	4,84	5,12	5,45	8,04	8,77	9,74	11,60	21,90	1,90	2,00	53,20	29,80	13,05	10,71	8,89	6,58	5,94
9	4,72	5,03	5,39	7,17	8,07	9,41	9,47	8,61	2,61	4,54	7,30	11,45	9,37	7,94	7,18	5,72	5,93
10	4,53	5,09	5,21	6,05	8,29	8,55	9,79	9,33	5,30	3,68	7,27	9,57	9,09	8,33	6,84	6,03	5,75
11	4,31	4,95	5,12	5,46	6,47	7,58	8,94	8,27	7,14	3,42	5,99	6,63	8,02	6,95	6,22	5,89	5,64
12	3,89	4,72	5,09	5,25	6,08	6,81	7,34	6,67	5,81	3,41	4,21	5,43	7,23	6,43	6,04	5,72	5,03
13	3,55	4,39	4,55	4,99	5,22	5,68	5,54	7,28	2,90	2,76	2,84	4,69	4,81	5,58	5,30	4,64	4,47
14	3,41	4,06	4,12	4,42	5,04	5,50	5,26	3,44	3,84	4,16	3,13	4,17	4,71	5,31	4,93	4,35	4,14
15	3,25	3,39	3,59	3,77	4,02	4,32	3,99	3,22	3,75	3,89	3,13	3,36	3,85	4,31	4,12	3,88	3,64
16	3,10	3,21	3,50	3,66	3,82	3,89	3,66	3,53	3,13	3,08	3,29	3,16	3,47	3,73	3,63	3,48	3,48
17	3,09	3,34	3,50	3,59	3,71	3,82	3,85	3,86	3,53	3,07	3,14	2,91	3,16	3,35	3,39	3,30	3,19

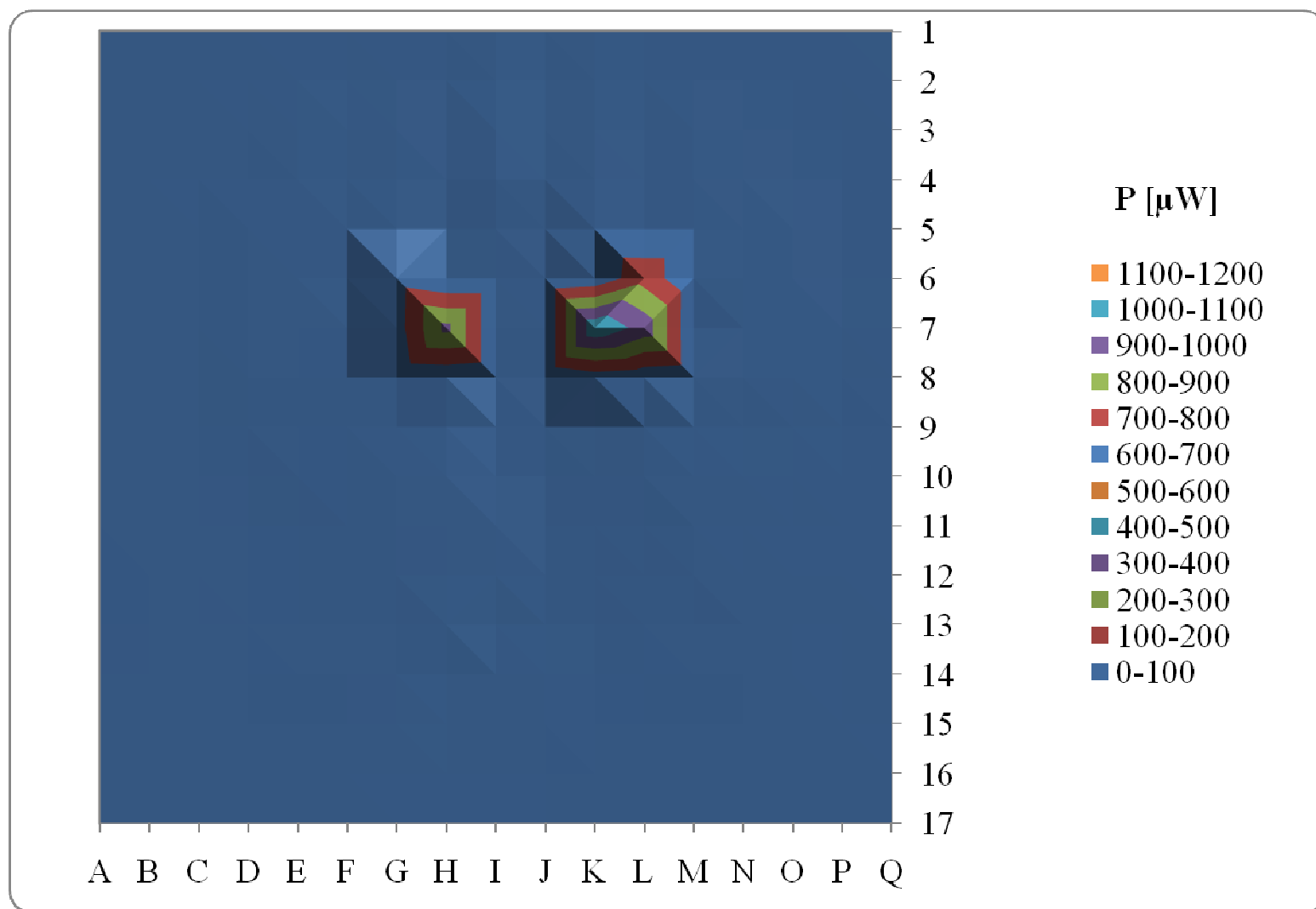
Tabulka 5: Měření na vzdálenost 1 metr s velkou překážkou



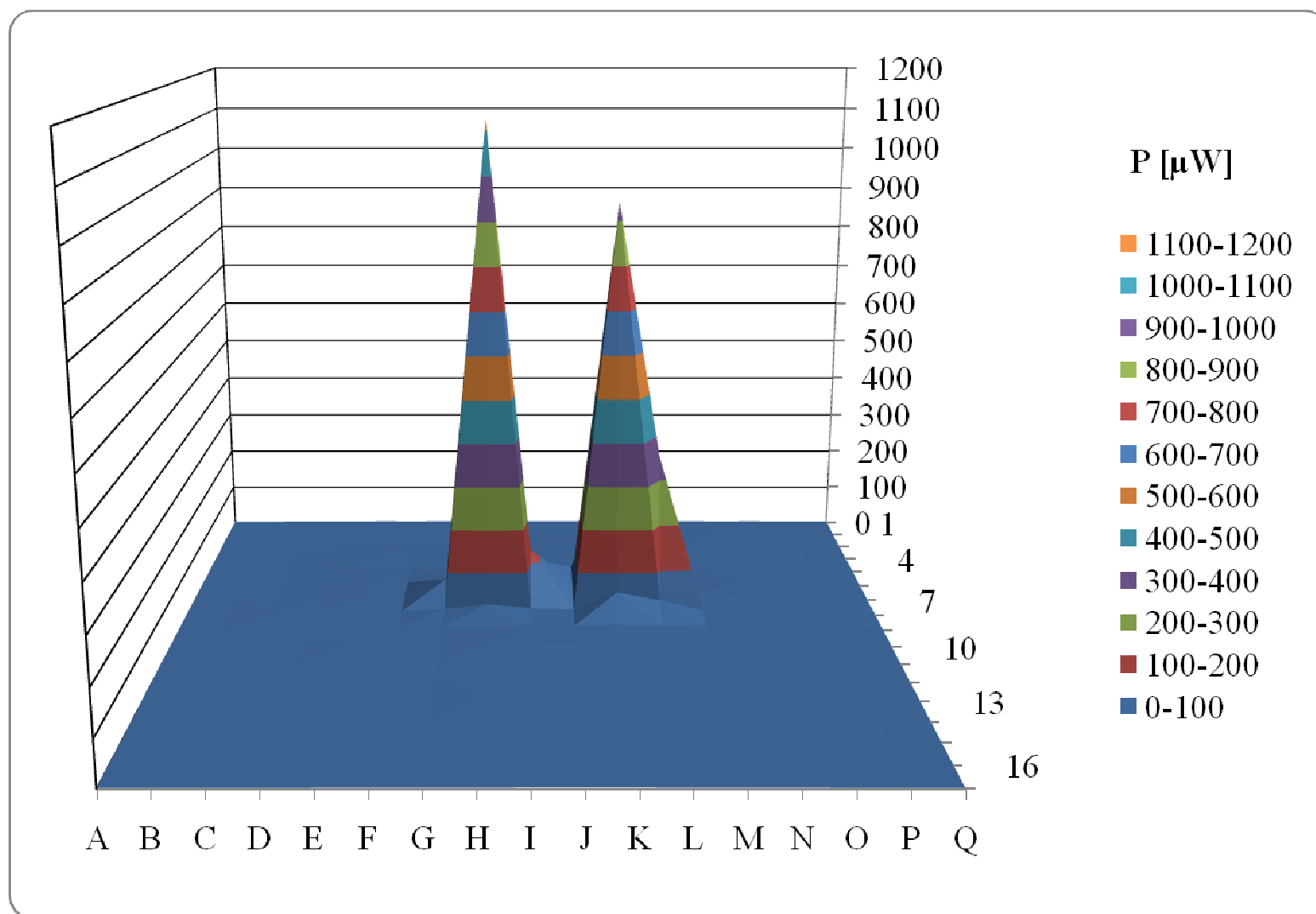
Graf 1: 2D zobrazení na vzdálenost 1 metr bez překážky



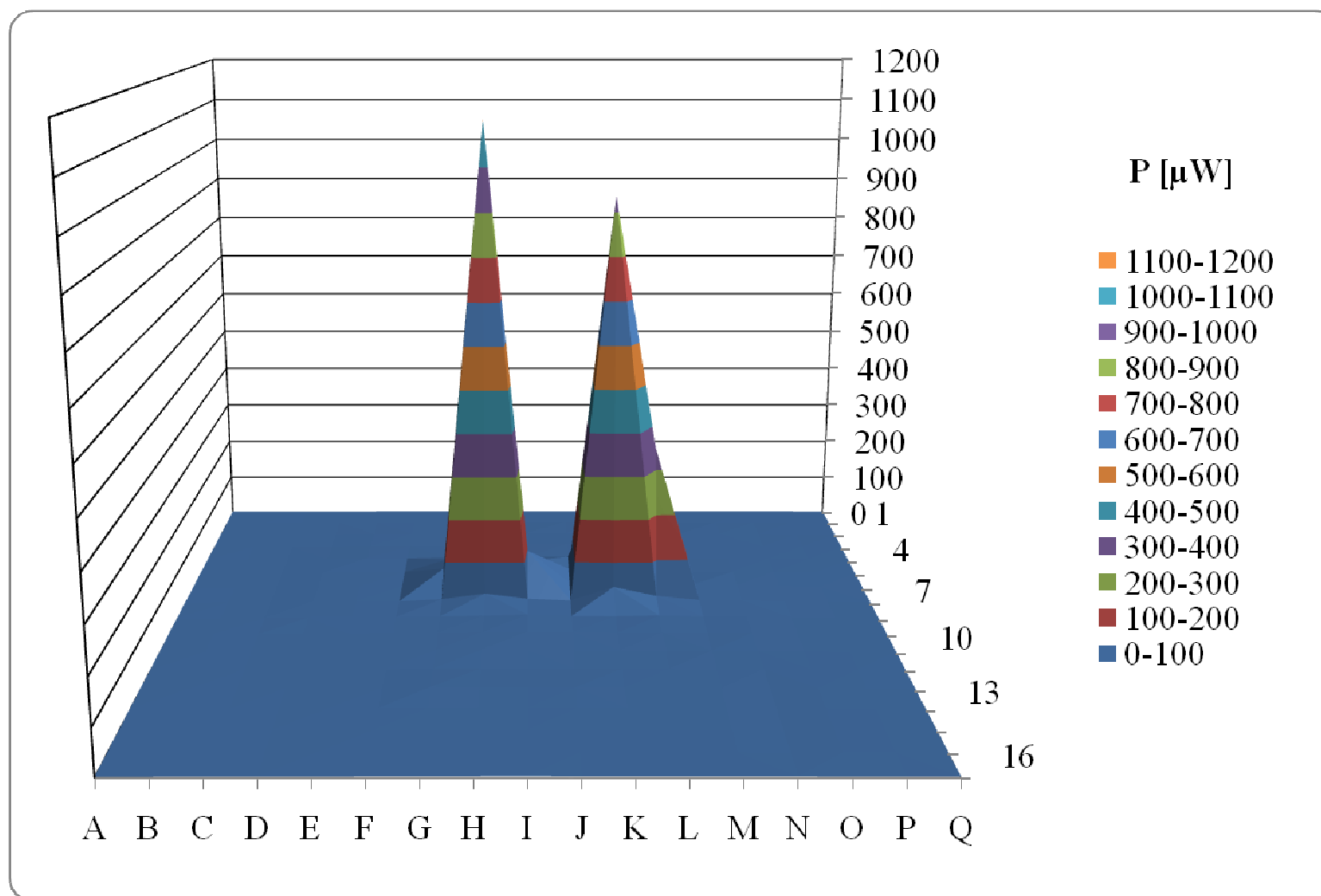
Graf 2: 2D zobrazení na vzdálenost 1 metr s malou překážkou



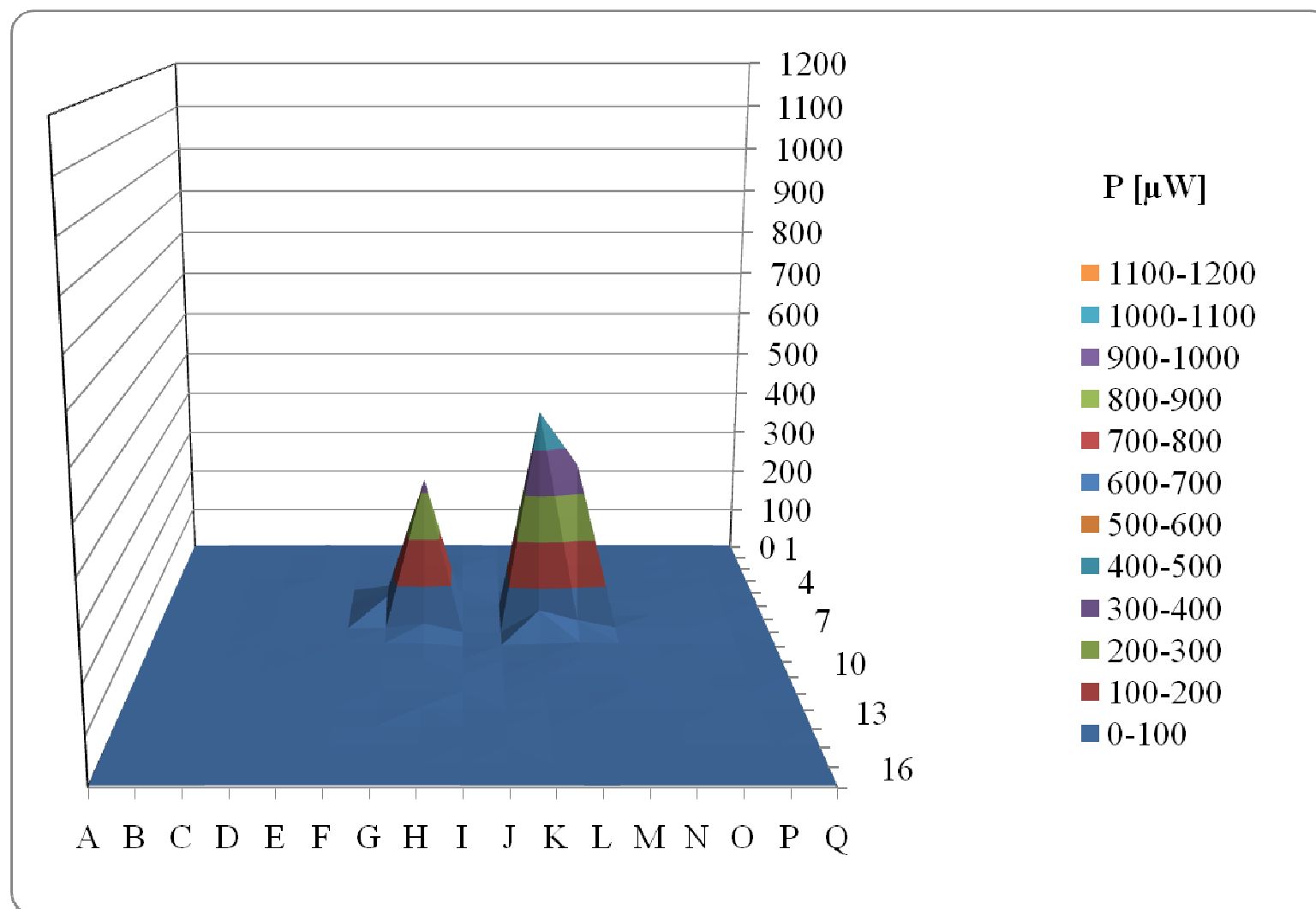
Graf 3: 2D zobrazení na vzdálenost 1 metr s velkou překážkou



Graf 4: 3D zobrazení na vzdálenost 1 metr bez překážky



Graf 5: 3D zobrazení na vzdálenost 1 metr s malou překážkou



Graf 6: 3D zobrazení na vzdálenost 1 metr s velkou překážkou

b) Měření na vzdálenost 10 metrů

Bez překážky		[μW]		Okolní prostředí - 1,2 μW						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	1,36	2,61	3,08	3,29	3,22	3,07	2,78	2,67	2,61	2,56
2	1,97	4,09	4,00	5,40	6,50	5,60	3,50	2,00	1,55	1,52
3	3,11	6,36	11,40	19,50	22,40	18,20	9,10	4,00	2,00	1,55
4	4,80	15,65	30,70	45,60	51,30	38,60	24,80	9,80	2,86	1,54
5	5,97	24,48	34,40	50,90	58,20	42,40	29,50	13,70	3,98	1,53
6	5,47	21,67	35,00	51,60	57,60	39,90	27,30	10,90	3,84	1,50
7	4,07	9,94	22,26	32,00	32,30	27,40	15,30	6,40	2,12	1,45
8	2,66	4,81	6,63	8,98	10,31	9,37	5,36	2,08	2,01	1,40
9	1,31	2,63	3,19	3,51	3,65	2,75	2,12	2,59	1,44	1,25

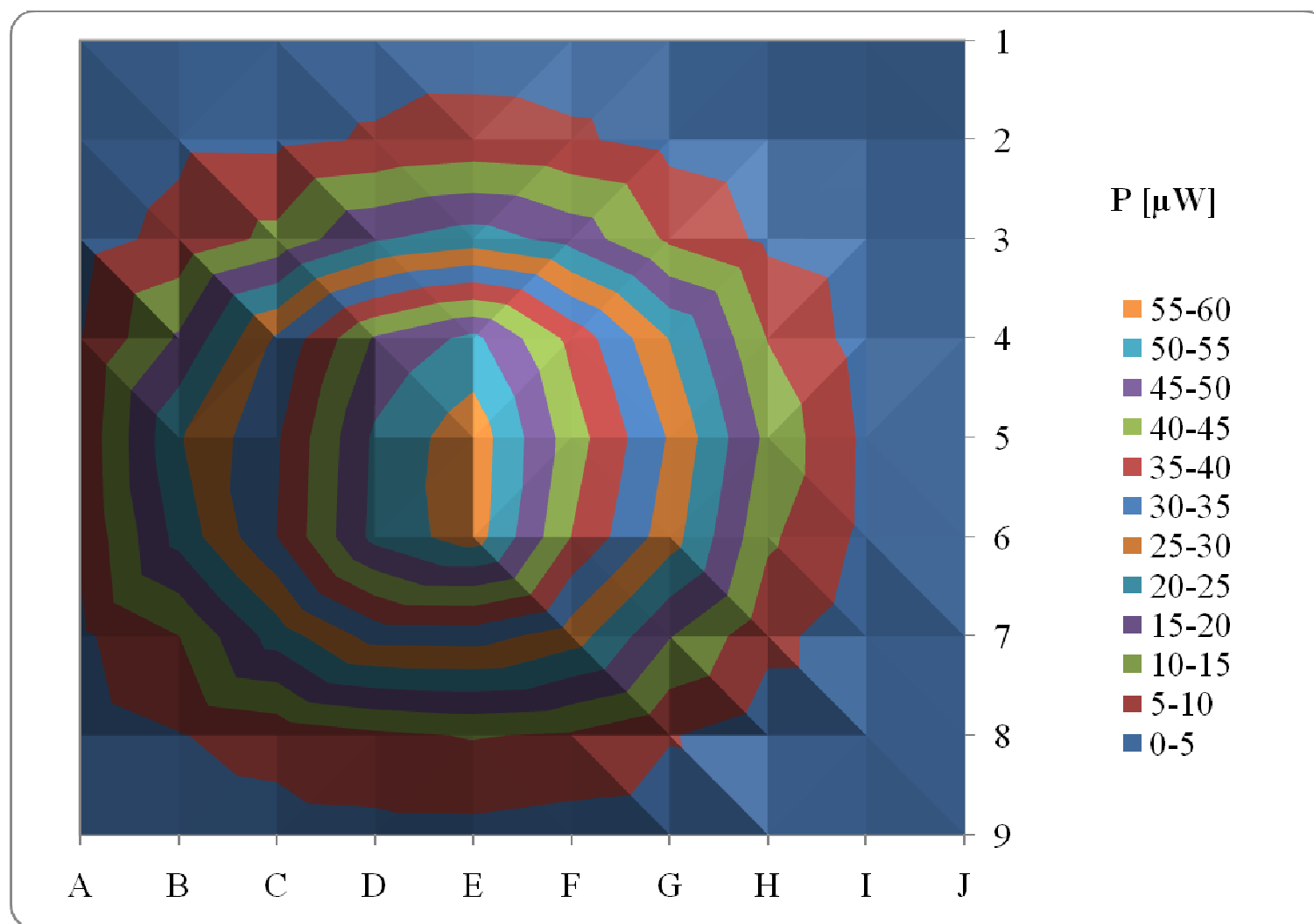
Tabulka 6: Měření na vzdálenost 10 metrů bez překážky

Malá překážka		[μW]		Okolní prostředí - 0,65 μW		Vzdálenost překážky - 9,65 m				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0,70	0,89	1,37	1,40	1,70	1,32	1,09	1,10	1,04	1,05
2	1,33	2,27	3,39	5,00	6,00	4,56	3,25	1,93	1,11	1,09
3	2,66	4,63	11,57	16,40	20,20	15,26	8,83	3,68	1,56	1,15
4	4,15	13,44	29,93	44,50	49,80	31,05	23,75	8,59	2,31	1,16
5	5,75	23,52	32,70	48,80	59,70	0,78	28,26	12,79	3,25	1,17
6	5,17	20,71	34,20	49,10	56,50	40,50	26,71	11,32	3,36	1,14
7	3,51	8,19	21,90	31,60	32,50	27,30	15,51	6,39	1,57	1,09
8	2,32	3,78	5,95	8,25	9,55	8,88	4,90	1,97	1,02	1,04
9	0,97	1,52	2,18	2,47	2,58	1,80	1,17	1,02	0,90	1,00

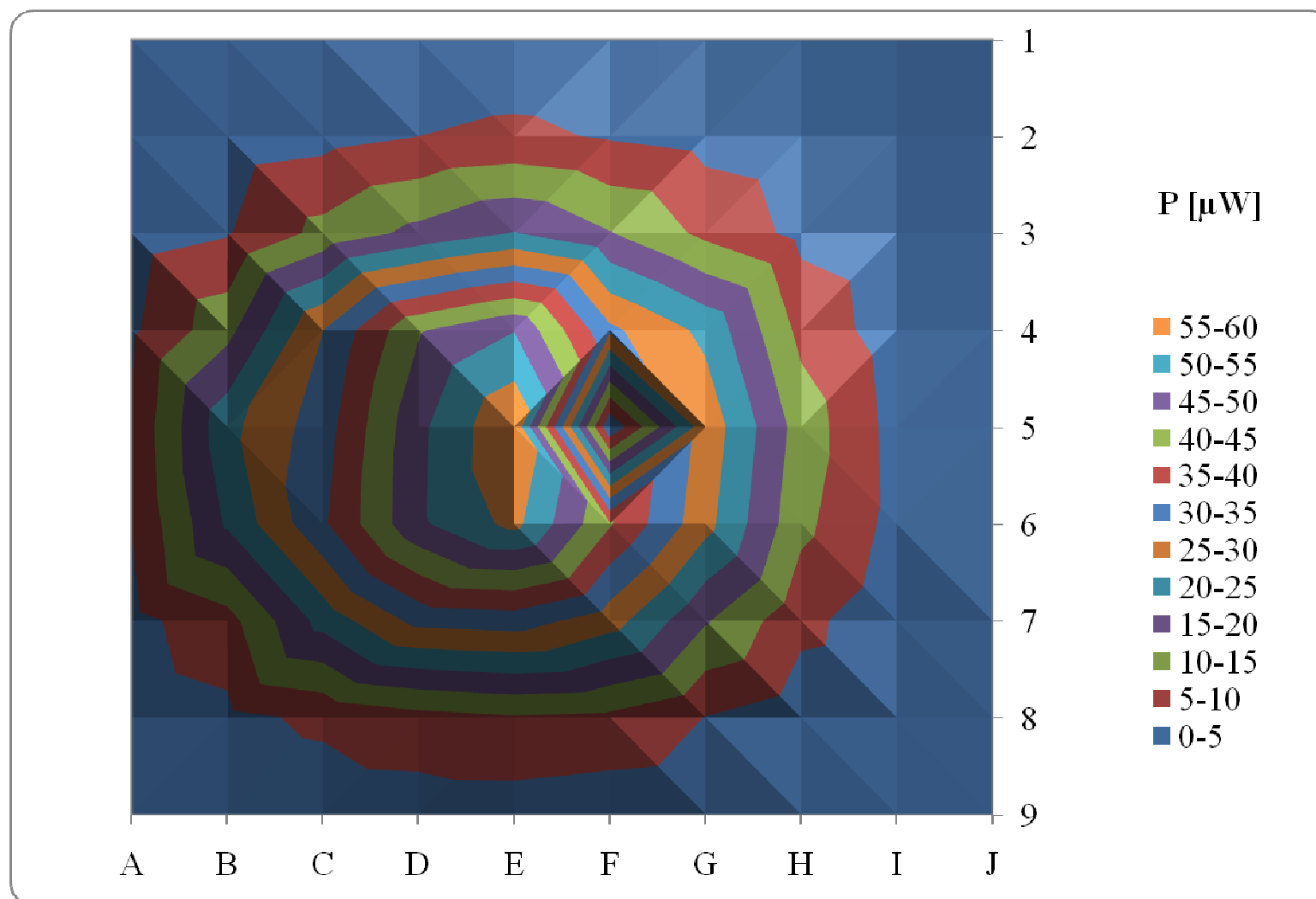
Tabulka 7: Měření na vzdálenost 10 metrů s malou překážkou

Velká překážka		[μW]	Okolní prostředí - 0,5 μW				Vzdálenost překážky - 9,65 m			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0,55	0,74	1,32	1,43	1,47	1,31	0,97	0,72	0,65	0,60
2	0,71	2,33	3,50	5,10	5,80	0,40	3,20	1,50	0,75	0,66
3	2,61	4,99	11,30	18,10	12,50	0,40	9,90	3,70	1,30	0,76
4	4,17	12,76	30,40	43,60	48,80	0,50	24,30	9,10	2,10	0,81
5	5,31	23,02	34,50	49,80	57,90	0,60	28,80	12,30	3,10	0,84
6	4,88	19,85	33,60	48,40	24,20	37,40	13,80	5,30	2,70	0,83
7	3,56	8,12	22,67	31,71	31,60	24,10	14,90	5,80	1,20	0,77
8	1,89	3,59	5,69	8,39	7,42	7,91	4,43	1,51	0,78	0,72
9	0,70	1,39	2,03	2,31	1,02	1,36	0,98	0,76	0,70	0,67

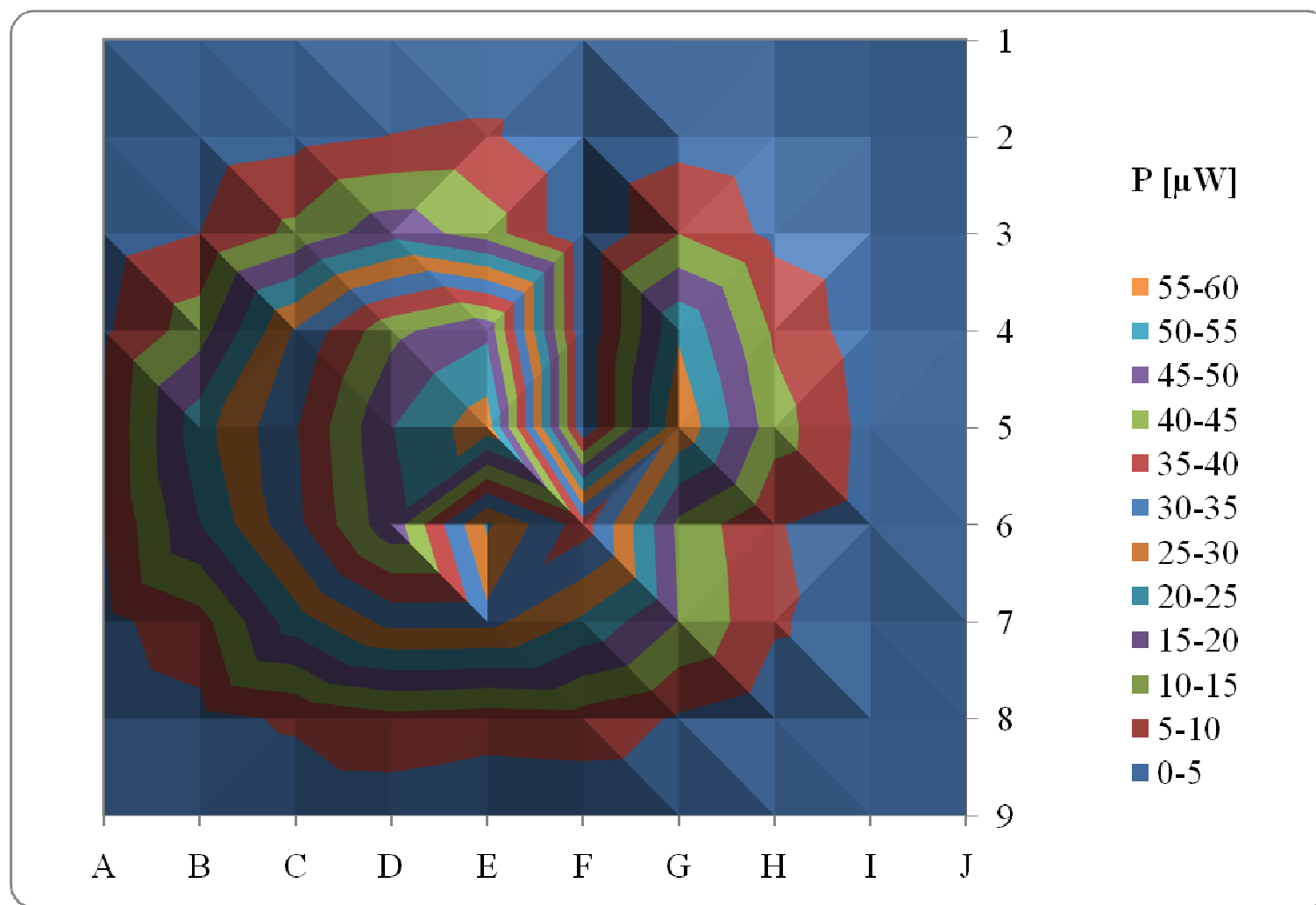
Tabulka 8: Měření na vzdálenost 10 metrů s velkou překážkou



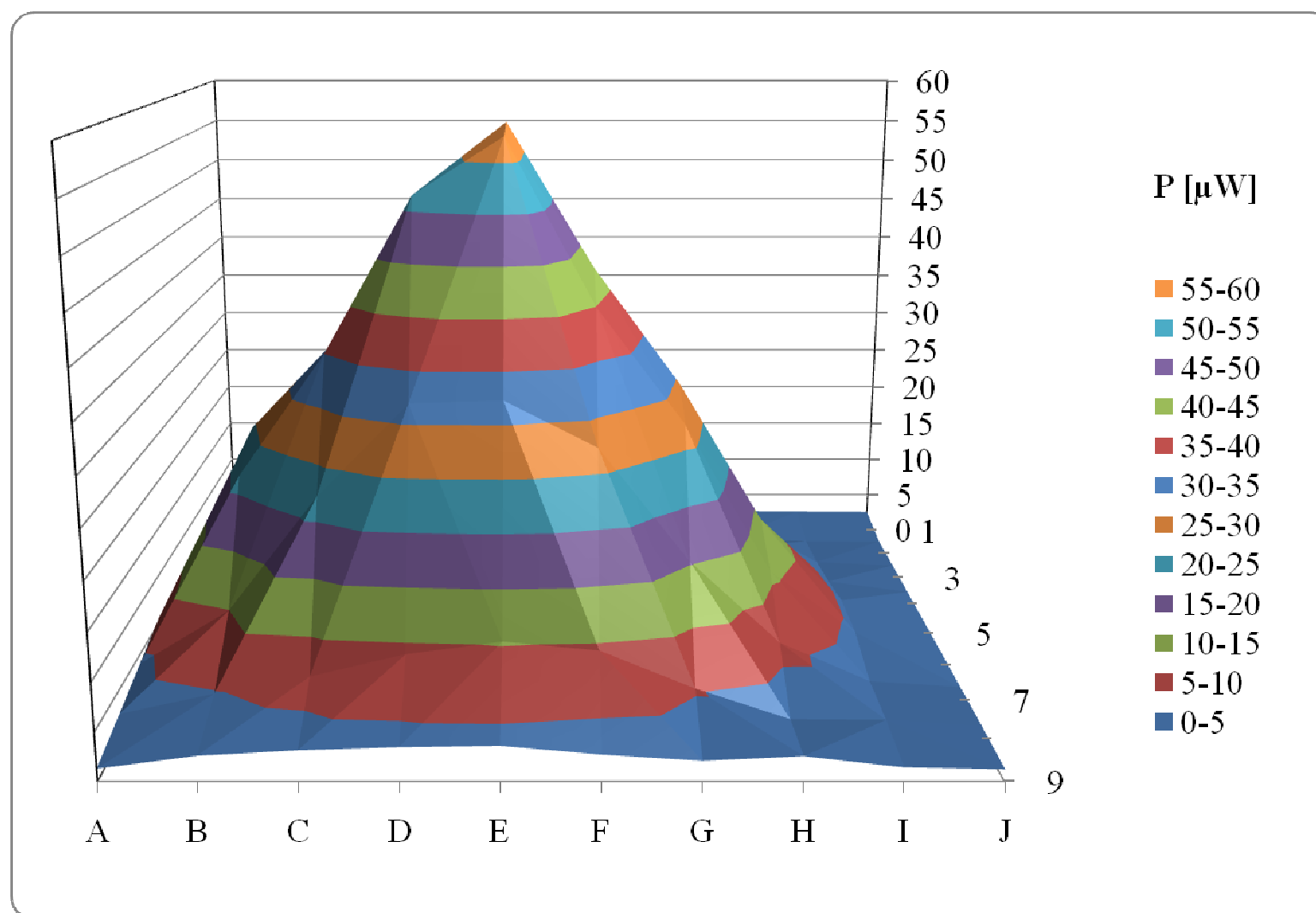
Graf 7: 2D zobrazení na vzdálenost 10 metrů bez překážky



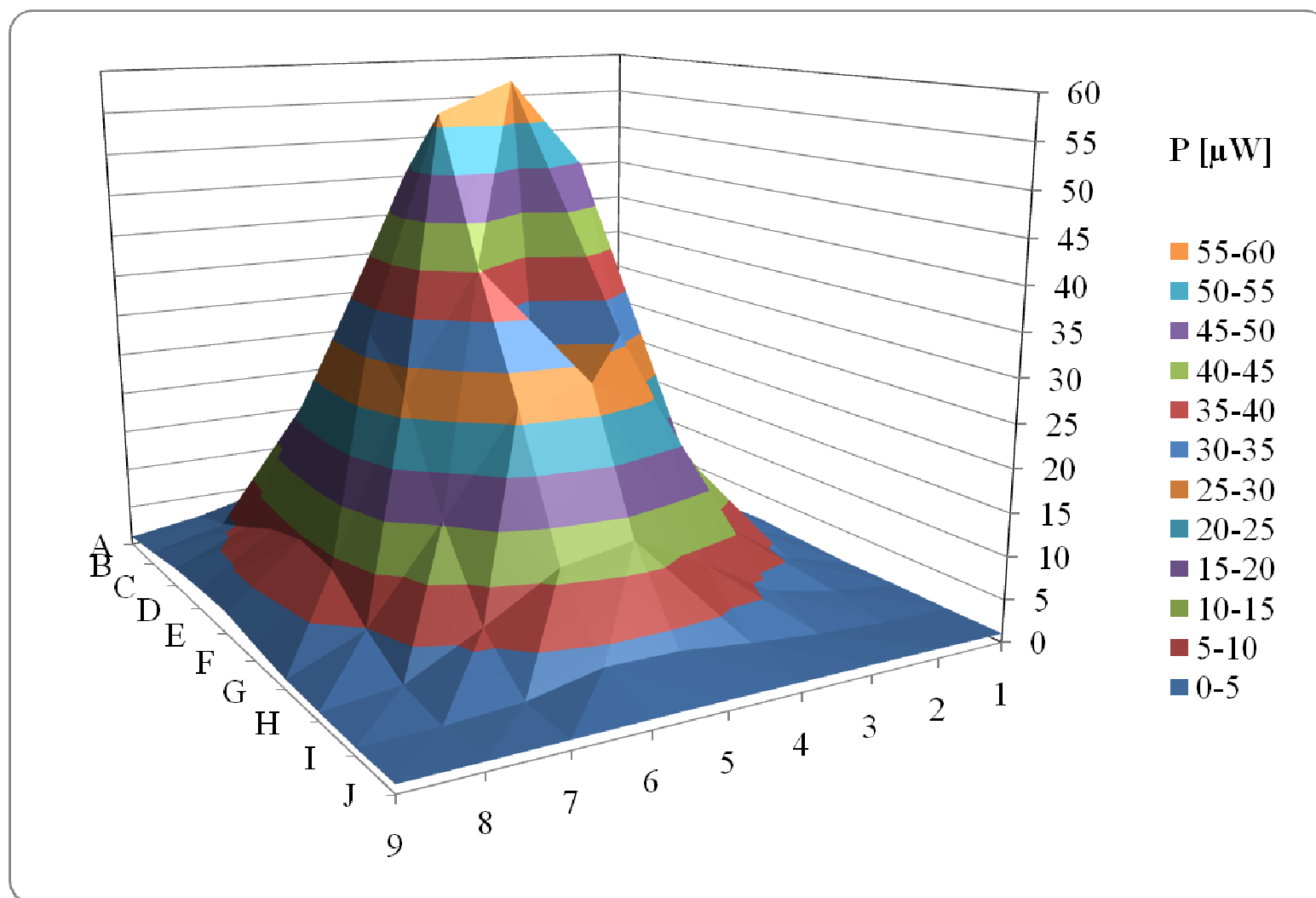
Graf 8: 2D zobrazení na vzdálenost 10 metrů s malou překážkou



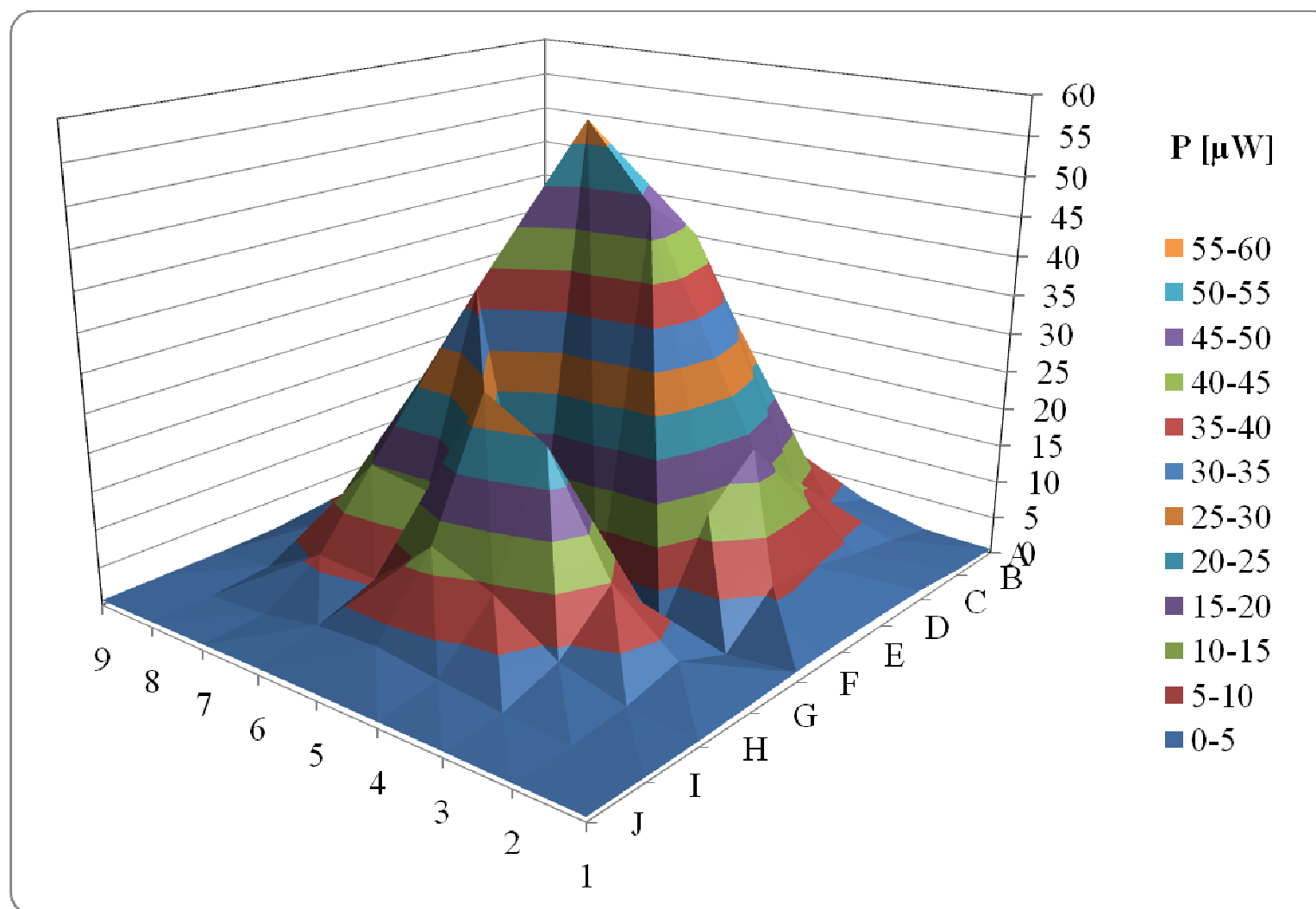
Graf 9: 2D zobrazení na vzdálenost 10 metrů s velkou překážkou



Graf 10: 3D zobrazení na vzdálenost 10 metrů bez překážky



Graf 11: 3D zobrazení na vzdálenost 10 metrů s malou překážkou



Graf 12: 3D zobrazení na vzdálenost 10 metrů s velkou překážkou

c) Měření na vzdálenost 20 metrů

Bez překážky		[μW]										
		okolní prostředí - 0,5 μW										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	0,70	0,97	1,38	1,82	2,27	2,81	3,12	2,95	2,63	2,13	1,60	0,95
2	1,00	1,40	2,03	2,99	4,49	6,16	6,79	6,29	5,14	3,66	1,95	1,24
3	1,34	1,98	3,25	6,65	9,40	11,10	11,50	11,28	9,05	4,77	4,70	2,98
4	1,63	3,04	6,39	9,20	11,79	14,98	13,65	13,81	12,30	9,60	6,96	4,51
5	1,99	4,30	7,64	10,68	12,43	13,27	13,46	13,90	13,50	11,32	8,32	6,96
6	2,13	5,10	7,75	10,65	12,13	12,57	12,70	13,30	13,84	12,29	8,96	7,01
7	2,11	5,26	7,93	10,92	12,95	13,46	13,39	13,75	13,74	11,88	8,25	6,57
8	1,90	4,10	7,15	9,46	12,69	14,04	14,42	14,11	13,63	10,96	7,79	5,49
9	1,56	2,73	5,58	8,08	10,10	12,63	13,60	14,22	10,98	8,33	5,77	3,91
10	1,25	1,86	3,30	5,54	7,28	8,39	9,90	9,08	6,75	5,24	3,79	2,08
11	0,95	1,24	1,98	2,74	3,54	4,36	4,48	4,47	3,56	2,83	2,23	1,27

Tabulka 9: Měření na vzdálenost 20 metrů bez překážky

Malá překážka - měření č. 1					[μW]		Okolní prostředí - 0,4 μW			Vzdálenost překážky - 19,6 m		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	0,68	1,01	1,45	1,93	2,40	3,10	3,31	3,22	2,93	2,35	1,82	1,09
2	0,98	1,52	2,23	3,40	5,09	6,96	7,28	6,69	5,73	4,03	2,92	1,34
3	1,39	2,08	3,73	7,15	9,71	11,42	12,21	11,63	9,81	7,42	5,46	3,04
4	1,69	3,05	6,50	9,59	12,26	13,42	13,82	13,90	12,63	9,69	7,20	4,97
5	1,99	4,34	7,60	10,62	12,92	13,40	13,77	13,80	13,55	11,43	8,39	7,09
6	2,11	4,93	7,56	10,78	12,55	13,00	13,49	13,89	13,92	12,11	8,92	6,92
7	3,12	4,95	7,84	10,72	13,01	13,52	13,35	13,71	13,72	11,71	8,52	6,27
8	1,79	3,64	6,95	9,48	12,54	8,10	14,41	14,08	13,58	10,59	7,26	5,19
9	1,57	2,58	5,31	7,84	10,14	12,53	13,87	13,64	11,37	8,23	5,72	3,84
10	1,26	1,92	3,19	5,29	6,87	8,25	9,22	8,38	6,62	4,91	3,56	1,99
11	0,94	1,27	1,86	1,59	3,36	3,97	4,24	4,19	3,47	2,74	1,98	1,45

Tabulka 10: Měření č. 1 na vzdálenost 20 metrů s malou překážkou

Velká překážka - měření č. 1					[μW]	Okolní prostředí - 0,4 μW			Vzdálenost překážky - 19,6 m			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	0,89	1,10	1,55	1,96	2,48	3,20	3,34	3,36	2,73	2,32	1,80	1,06
2	1,04	1,50	2,30	3,42	5,16	7,17	7,64	6,59	5,60	4,14	3,25	1,52
3	1,39	2,15	3,71	7,17	9,91	11,64	11,90	11,98	5,91	6,81	5,34	3,00
4	1,78	3,52	6,63	9,46	0,34	0,36	13,94	13,85	12,54	9,74	7,04	4,58
5	2,17	4,91	7,75	10,59	0,29	11,02	13,95	13,97	13,71	11,10	9,34	7,42
6	2,27	5,72	9,19	11,27	0,34	12,92	13,43	13,89	13,79	12,07	8,70	7,71
7	2,19	5,09	7,78	10,76	4,82	0,41	13,58	13,88	13,80	11,98	8,14	6,54
8	1,88	4,16	7,16	7,08	7,55	11,91	14,60	14,14	13,40	10,11	7,39	5,36
9	1,64	2,84	5,56	7,95	10,29	6,25	13,90	13,45	11,02	7,83	5,27	3,61
10	1,28	2,00	3,19	5,25	6,77	0,33	9,02	9,52	6,49	5,29	3,51	1,84
11	0,96	1,26	1,91	2,73	3,54	0,28	4,50	4,17	3,49	2,84	2,22	1,56

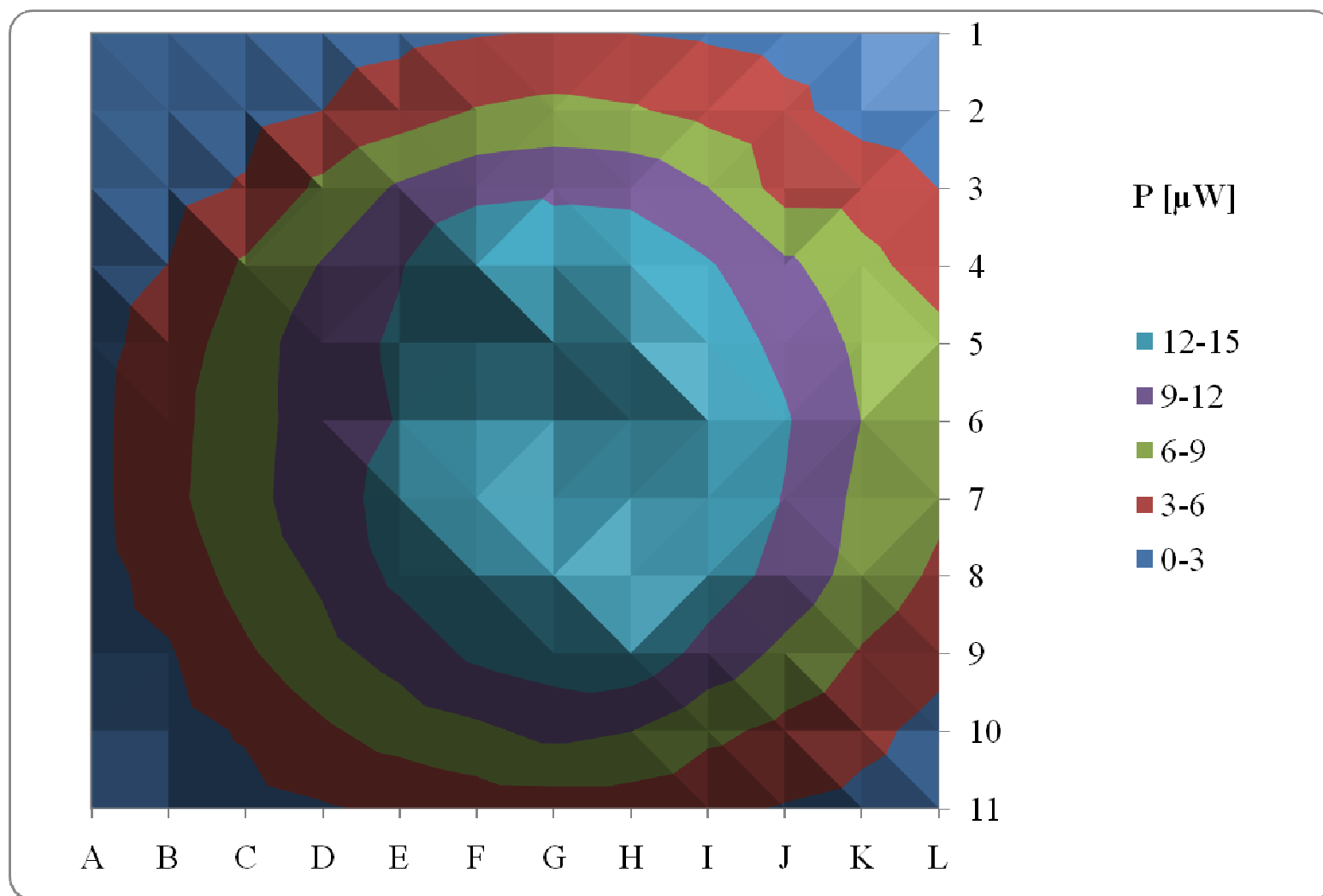
Tabulka 11: Měření č. 1 na vzdálenost 20 metrů s velkou překážkou

Malá překážka - měření č. 2				[μW]				Okolní prostředí - 0,4 μW			Vzdálenost překážky - 19,6 m	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	0,71	1,00	1,44	1,89	2,32	3,02	3,39	3,42	2,98	2,37	1,75	0,87
2	0,98	1,45	2,10	3,21	4,86	6,73	7,14	6,58	3,78	3,16	2,77	1,52
3	1,32	2,18	4,03	7,01	9,51	11,66	12,20	11,53	9,60	7,27	5,65	2,87
4	1,79	3,91	6,70	9,62	12,19	13,49	13,84	13,76	12,37	9,64	7,38	4,80
5	2,22	4,63	7,75	10,44	12,77	13,39	13,76	13,80	13,90	11,21	9,18	7,02
6	2,13	5,39	7,63	10,82	7,22	13,99	13,26	13,79	13,77	13,00	9,43	7,23
7	2,15	5,04	7,82	10,65	13,08	13,56	13,54	13,82	13,81	12,13	8,86	6,64
8	1,81	3,92	7,20	9,61	12,87	14,16	14,58	14,12	13,89	10,97	7,24	5,21
9	1,54	2,69	5,23	7,22	9,98	12,16	13,70	13,69	11,22	7,49	5,46	3,64
10	1,20	1,97	3,25	5,23	6,88	8,06	8,77	8,15	7,25	5,21	3,54	1,98
11	0,91	1,22	1,90	2,59	3,58	3,95	4,33	3,94	3,45	2,82	1,90	1,35

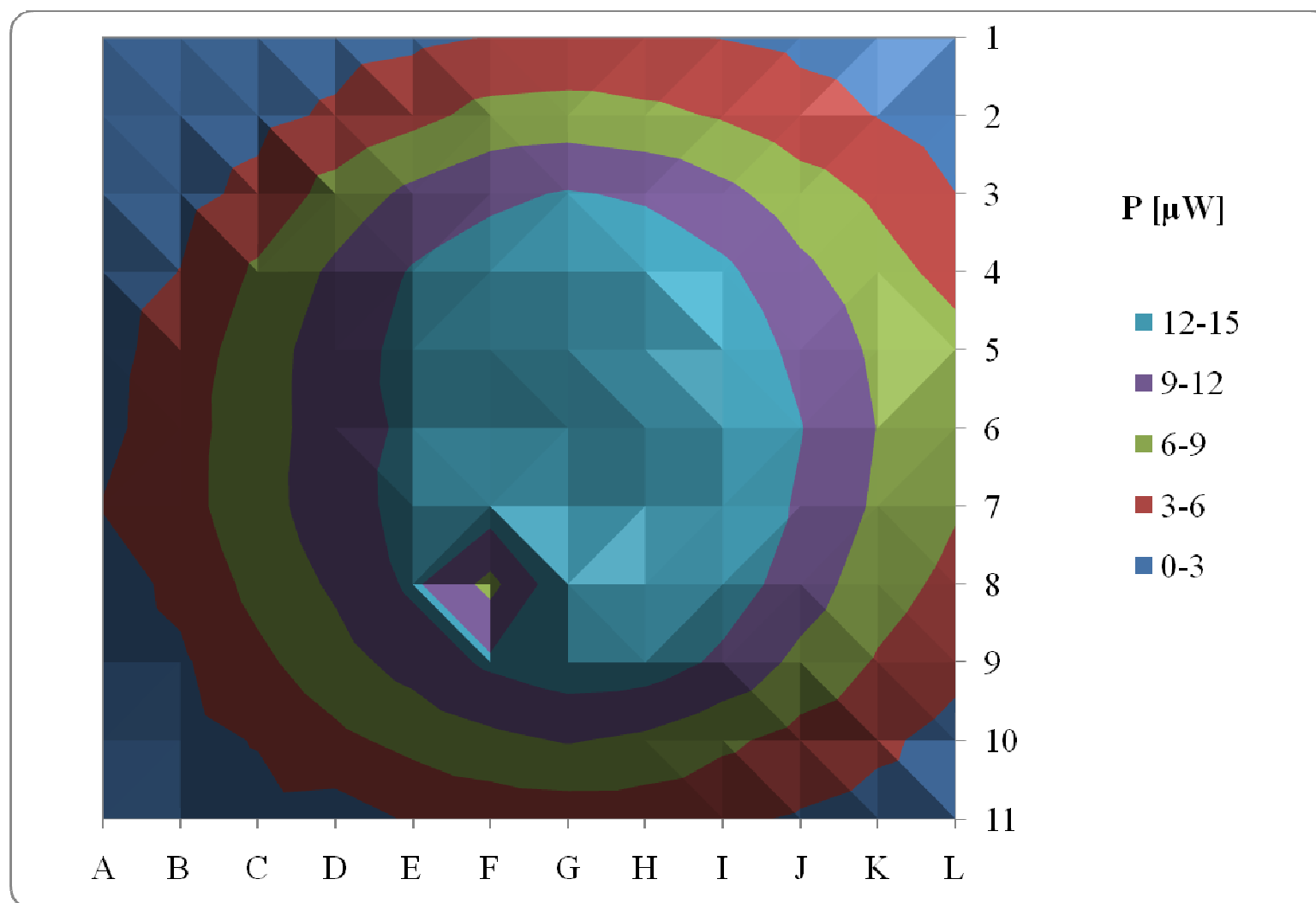
Tabulka 12: Měření č. 1 na vzdálenost 20 metrů s malou překážkou

Velká překážka - měření č. 2					[μW]		Okolní prostředí - 0,4 μW			Vzdálenost překážky - 19,6 m		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	0,70	1,05	1,52	2,05	2,66	3,32	3,45	3,40	2,83	2,36	1,70	0,92
2	1,00	1,54	2,22	3,58	5,19	7,14	7,28	7,02	5,51	4,21	2,71	1,64
3	1,43	2,23	4,06	6,93	9,53	11,49	12,01	11,73	9,64	7,05	4,98	3,02
4	1,75	3,49	6,61	9,49	11,90	13,51	13,80	13,40	12,21	9,52	7,31	4,36
5	2,15	4,83	7,75	10,86	0,32	1,03	13,89	13,91	13,62	11,42	8,48	6,85
6	2,21	5,35	9,01	10,94	1,08	12,25	13,41	13,99	13,85	11,97	8,63	6,89
7	2,28	5,08	7,82	10,92	0,51	0,34	13,58	13,92	13,85	11,61	8,32	6,63
8	1,80	4,06	7,13	9,56	6,53	0,59	14,32	14,23	13,52	10,21	7,23	5,54
9	1,56	2,88	5,73	8,12	10,42	0,36	13,58	13,62	11,32	7,93	5,33	3,67
10	1,23	1,96	3,27	5,53	7,24	0,35	9,15	9,43	6,68	4,83	3,13	1,85
11	0,92	1,32	1,93	2,66	3,43	0,27	4,42	6,05	3,46	2,78	2,04	1,16

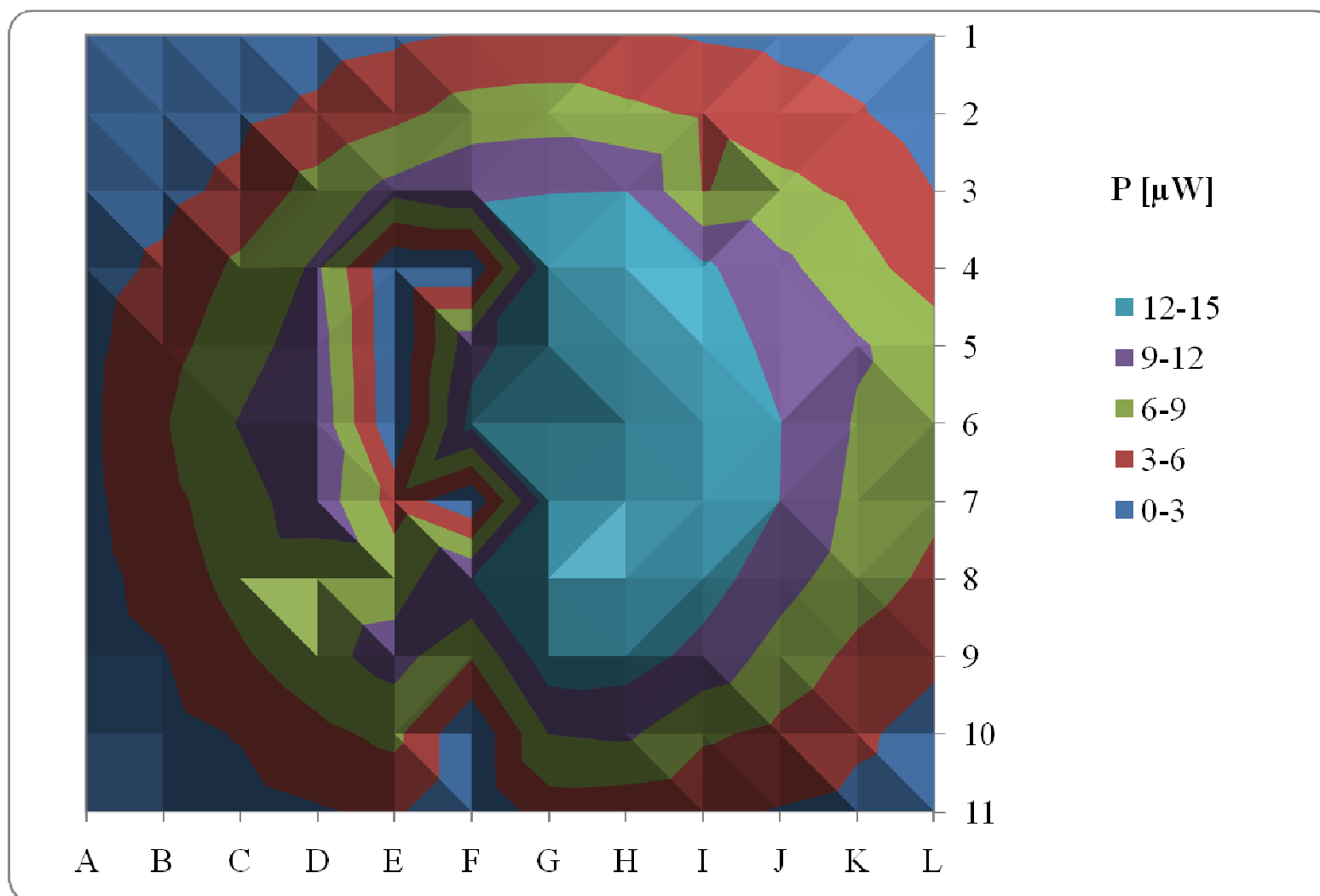
Tabulka 13: Měření č. 2 na vzdálenost 20 metrů s velkou překážkou



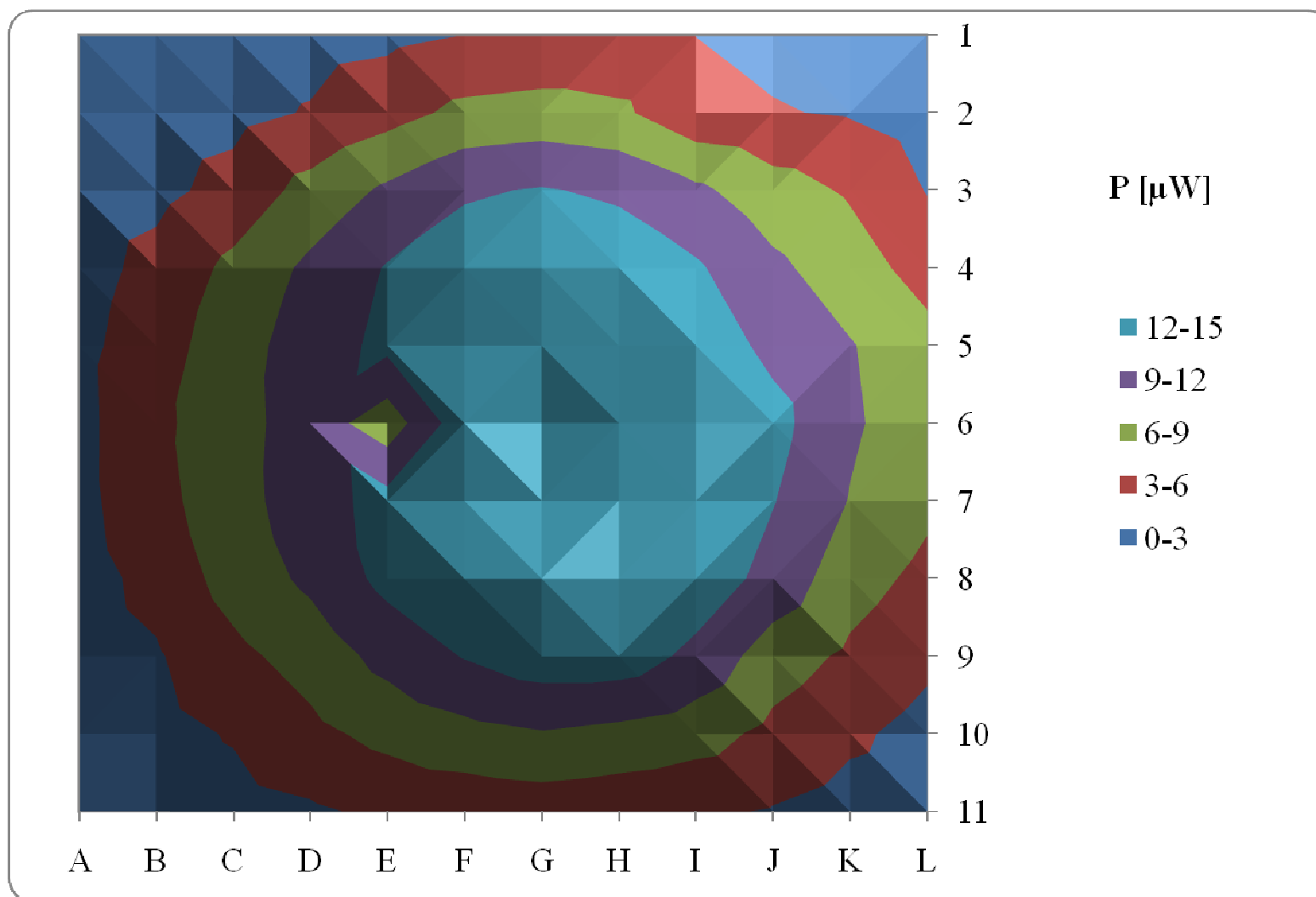
Graf 13: 2D zobrazení na vzdálenost 20 metrů bez překážky



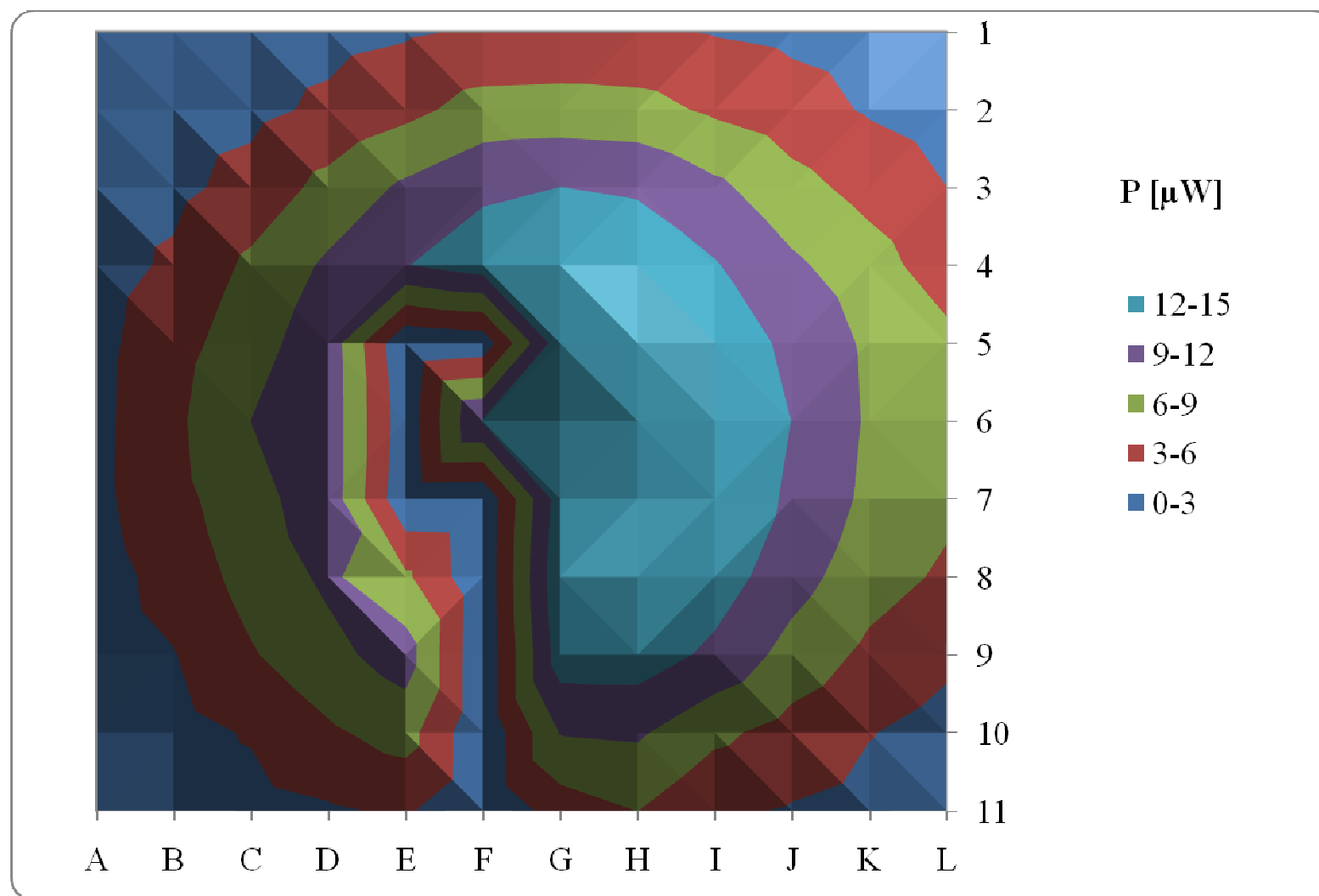
Graf 14: 2D zobrazení na vzdálenost 20 metrů s malou překážkou – měření č. 1



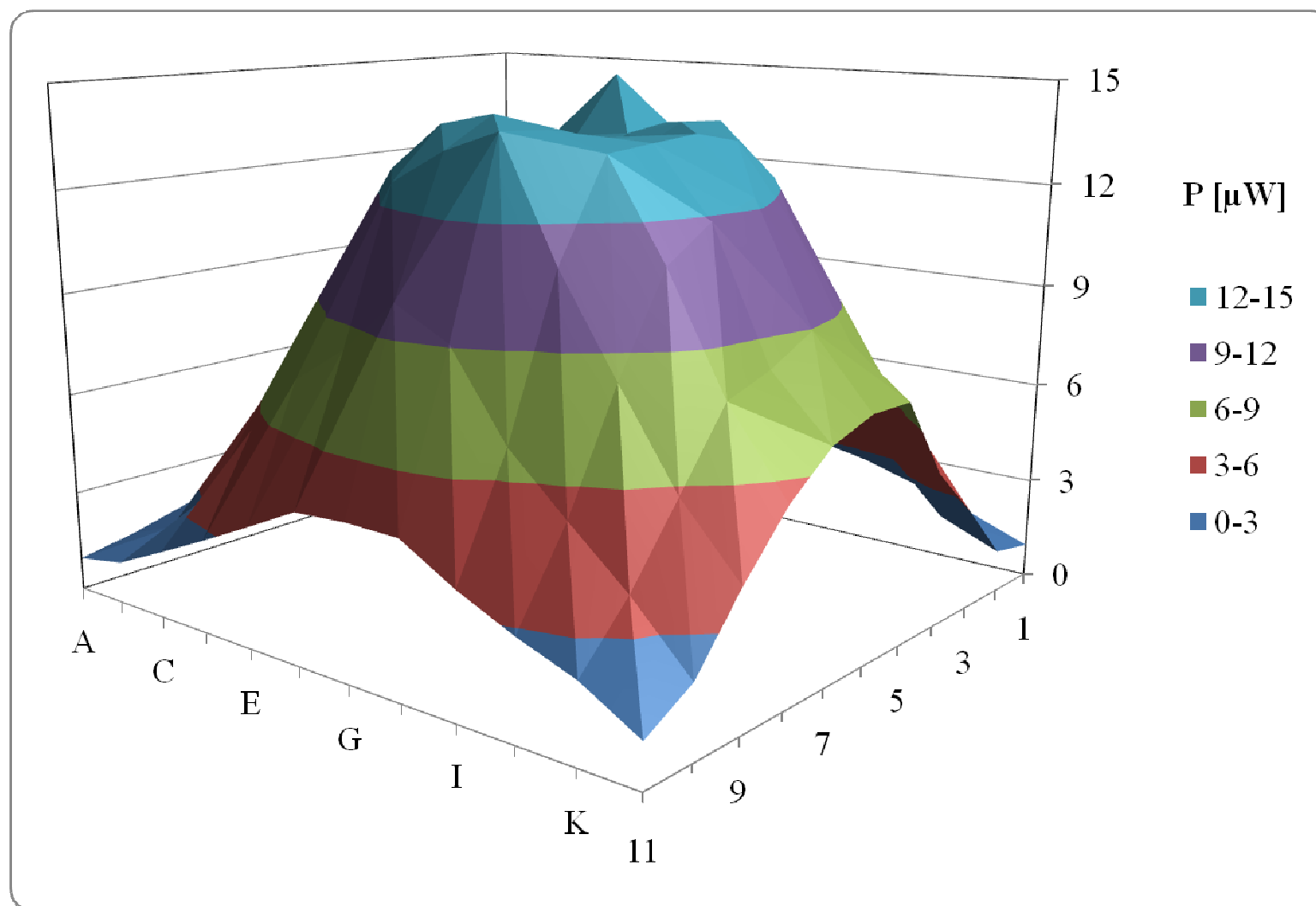
Graf 15: 2D zobrazení na vzdálenost 20 metrů s velkou překážkou – měření č. 1



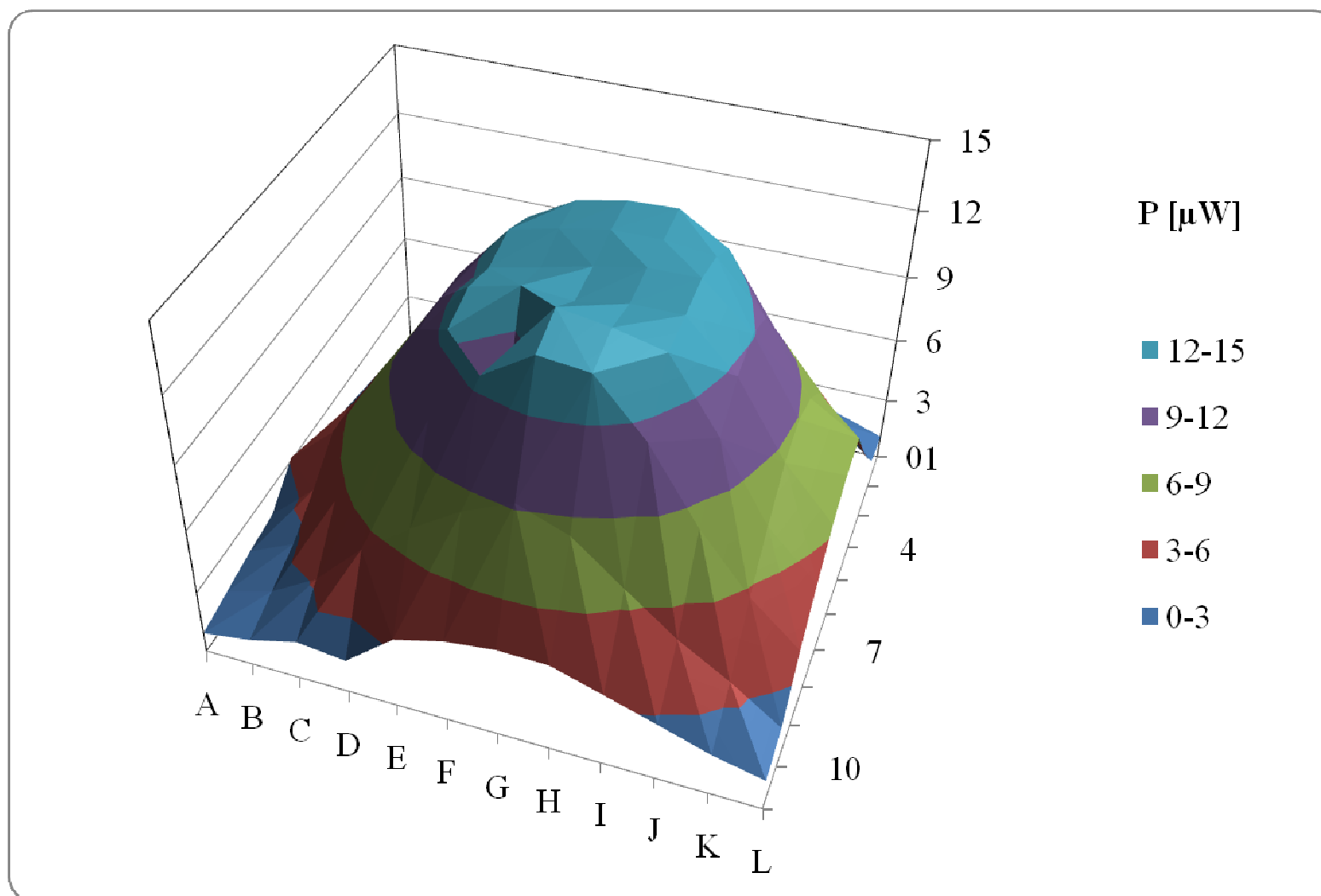
Graf 16: 2D zobrazení na vzdálenost 20 metrů s malou překážkou – měření č. 2



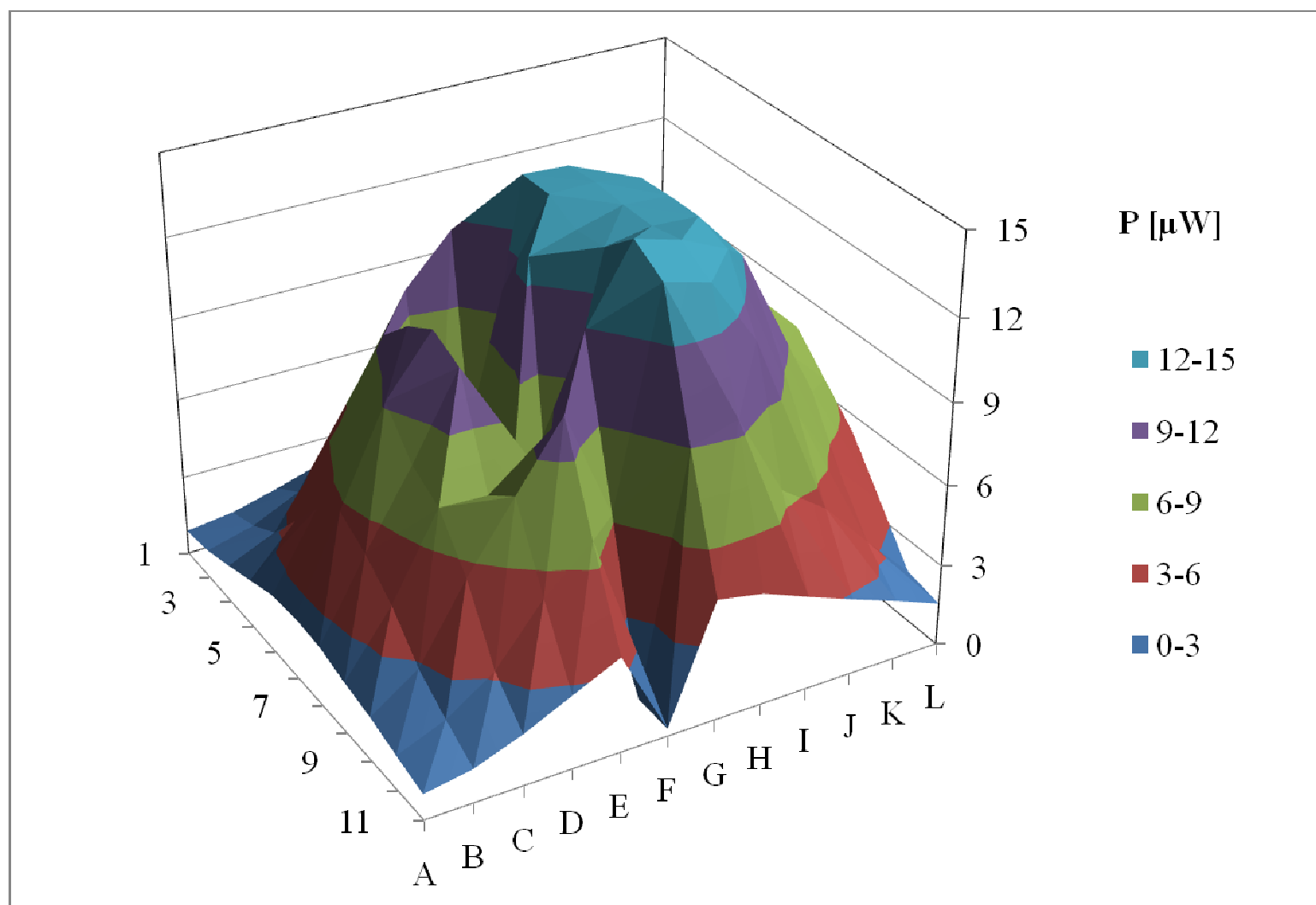
Graf 17: 2D zobrazení na vzdálenost 20 metrů s velkou překážkou – měření č. 2



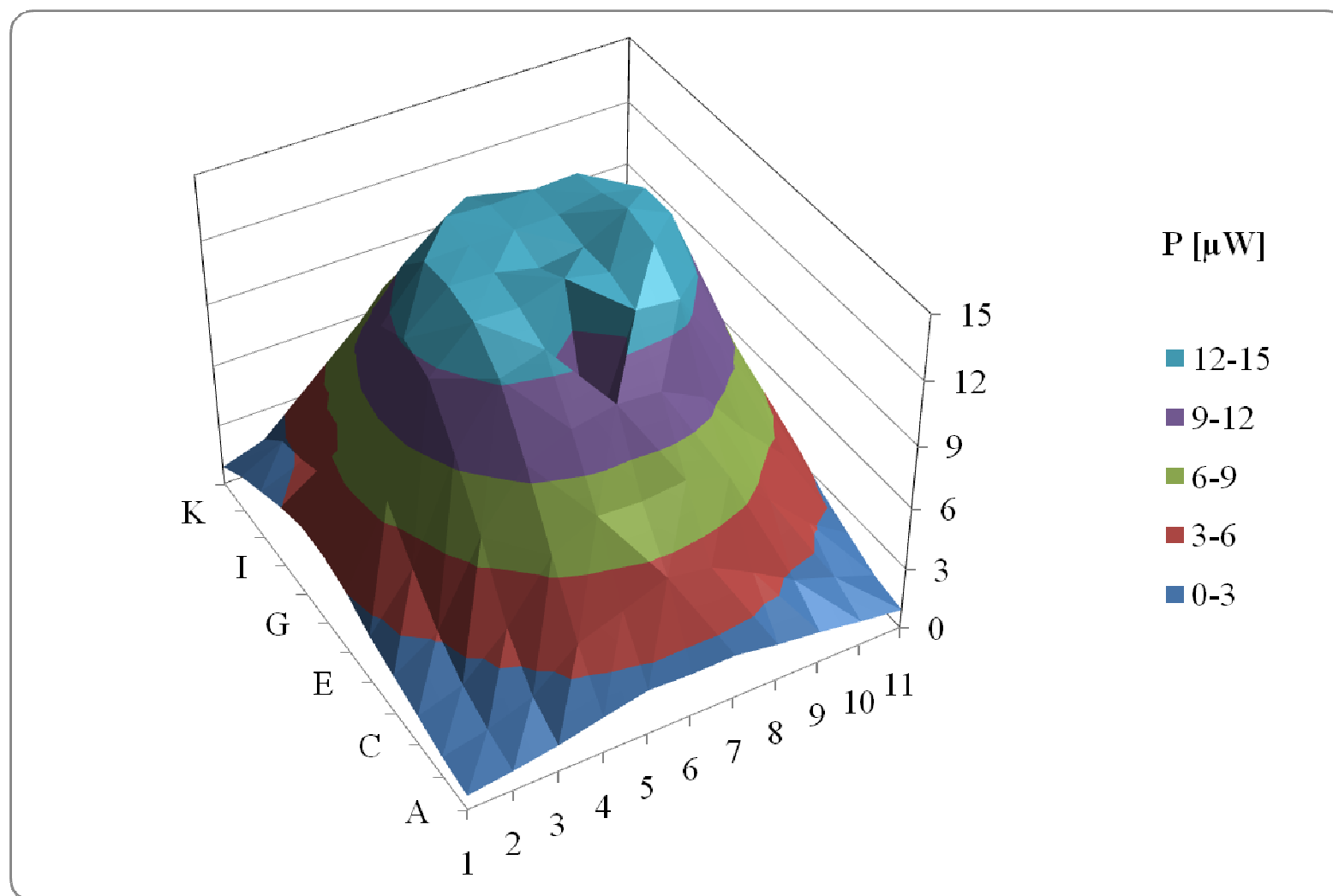
Graf 18: 3D zobrazení na vzdálenost 20 metrů bez překážky



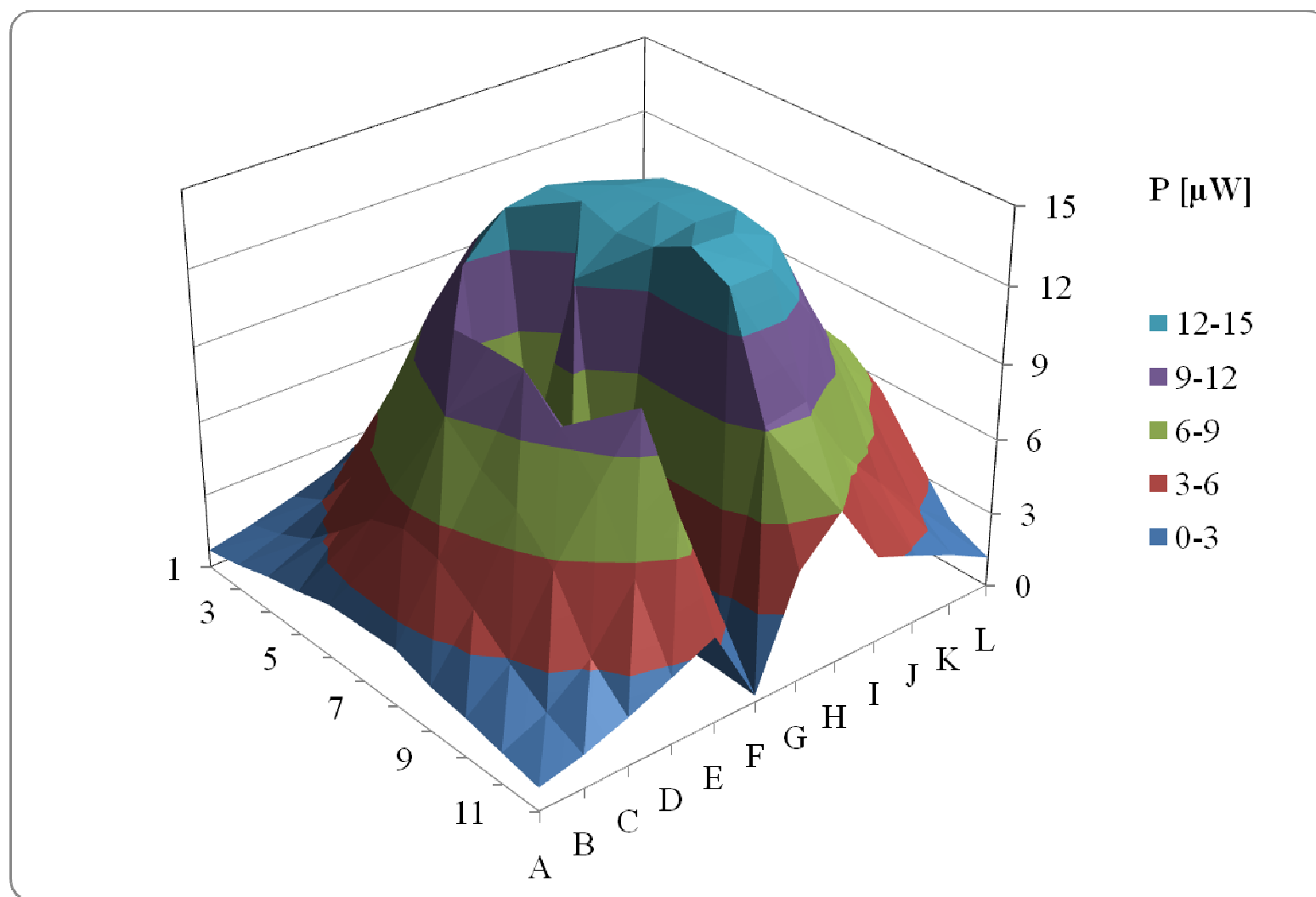
Graf 19: 3D zobrazení na vzdálenost 20 metrů s malou překážkou – měření č. 1



Graf 20: 3D zobrazení na vzdálenost 20 metrů s velkou překážkou – měření č. 1



Graf 21: 3D zobrazení na vzdálenost 20 metrů s malou překážkou – měření č. 2



Graf 22: 3D zobrazení na vzdálenost 20 metrů s velkou překážkou – měření č. 2

Vyhodnocení měření

Měření vlivu překážek na distribuci světla mělo několik fází, hodnocení provedeme vždy na jedné stanovené vzdálenosti, kdy budeme porovnávat vliv velikosti překážky na distribuci, potažmo poklesu výkonu v prostoru.

Při měření výkonu na vzdálenost 1 metru bez překážky je z grafu (graf 1) jasné poznat, že optický vysílač disponuje dvěma vysílacími zdroji s velmi úzkým svazkem. Jejich výhoda je popsána v teoretickém úvodu.

Při umístění malé překážky je velice důležité, v jaké pozici se přesně nachází. Z provedeného měření (graf 2) lze říci, že pokud malá překážka není umístěna přímo ve vysílaném svazku, tak vliv překážky je zanedbatelný. Pokud by ovšem byla překážka umístěna přímo v ose svazku optického zdroje, může dojít rapidnímu poklesu výkonu a při větších přenosových vzdálenostech by mohlo dojít k výpadku spojení. Ovšem tento problém je ošetřen dvousvazkovým řešením vysílače, takže při výpadku jednoho svazku spojení bez problémů zvládne svazek druhý.

Pokud umístíme před optický vysílač překážku velkou, lze z grafu 6 říci, že oba vysílací svazky jsou velkou překážkou z větší části stíněny a hodnota výkonu v měřené oblasti je přibližně 3x nižší, což by při zhoršení atmosférických podmínek mohli při stanoveném nastavení znamenat rozpad spojení.

Při měření výkonu na vzdálenost 10 metrů bez překážky je z grafu (graf 7) jasné viditelné, že dva optické svazky na tuto vzdálenost přecházejí do jednoho s mnohem širším výkonovým rozložením na v měřeném prostoru. Při velmi přesném měření bychom následně po vynesení do grafu mohli pozorovat, že stále existují výkonové špičky v měřené oblasti, které identifikují centrální pozici optického svazku.

Při umístění malé překážky (grafy 8 a 11) dochází k částečnému omezení výkonového rozložení v měřené oblasti. Obdobně je tomu i v případě velké překážky (grafy 9 a 12). U velké překážky dochází k útlumu výkonu až na skoro nulové hodnoty, ale pouze v oblasti stínu velké překážky. Jak u malé, tak velké překážky opět záleží na pozici překážky. Pokud bychom ji umístili přímo do trajektorie svazku, dojde k poklesu celkového výkonu optického zdroje a tím i vzdálenosti přenosu.

Při třetí sérii měření na vzdálenost 20 metrů bez překážky je graf obdobný jako při měření na vzdálenost 10 metrů (grafy 13 a 7) ovšem s tím rozdílem, že výkon na tuto vzdálenost je přibližně 3x nižší a rozložení výkonu v prostoru širší. Při porovnání grafů 14, 16 a 8 (15,16 a 9)

je vliv velikosti překážek přibližně stejný jako u předchozího 10 metrového měření. I na vzdálenost při přesnějším měření můžeme detekovat výkonové špičky optických svazků (graf 20).

Velkým faktorem, který dokázal podstatně ovlivnit měření, bylo denní světlo, které měnilo svoji intenzitu dle počasí. Proto musí být provedeno pro denní měření kvalitní zatemnění nebo realizovat měření ve večerních hodinách (zimní období).

Po shrnutí lze říci, že největším problémem u atmosférických optických spojů jsou překážky v bezprostřední blízkosti optického vysílače. Z tohoto důvodu se vyrábějí optické vysílače vícesvazkové k minimalizaci této problematiky. Pokud by ovšem tyto problémy vznikaly často, bylo by na místě provést změnu v daném optickém systému.

Literatura

- [1] *ThorLabs* [online]. 2010 [cit. 2010-04-22]. ThorLabs products. Dostupné z WWW: <<http://www.thorlabs.us/thorProduct.cfm?partNumber=PM30-122>>.
- [2] *Kaiser Data - Divize bezdrátových komunikací* [online]. 2010 [cit. 2010-04-21]. Kaiser Data. Dostupné z WWW: <<http://www.bezdratove-telekomunikace.cz/katalog-pojitek/o-laserovych-spojich>>.